

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

«На правах рукопису»
УДК 621.798.3

«До захисту допущено»

В.о завідувача кафедри

Гондляр О.В.

« » 20 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

**на тему: «Геометрія бункерів з метою оптимізації процесу пакування
сипких матеріалів»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЛУ-61м

Глінський Євген Миколайович

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Коваленко І.В.

Консультант з розділу «Математичне моделювання»

Професор, д.т.н.

Карвацький А.Я

Рецензент:

Доцент, к.т.н. кафедри МАХНВ

Андрєєв І.А.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

Київ – 2018 року

						Арк.
						1
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 131 «Прикладна механіка» («Технології і машини пакування»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Гондляр О.В.

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Глінському Євгену Миколайовичу

1. Тема дисертації «Геометрія бункерів з метою оптимізації процесу пакування сипких матеріалів», науковий керівник дисертації Коваленко Ігор Валентинович, к.т.н., затверджені наказом по університету від
«__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження – продуктивність бункерів різного типу

4. Предмет дослідження – сипкі матеріали різної фракції та з різним кутом природнього укосу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити – математичний аналіз існуючих бункерів та досліди з асиметричним бункером

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – 11 графічних матеріалів

7. Орієнтовний перелік публікацій – 3 статі, 2 виступи, 1 патент України

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2016 року

						Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Патентний огляд	1.09.16-31.12.16	
2	Математична модель склепіння	31.12.16-1.02.17	
3	Подача матеріалу на патент асиметричного бункеру	1.02.17-31.05.17	
4	Досліди з різними бункерами для сипких матеріалів	1.06.17-30.10.17	
5	Визначення кута природного укосу, фракцій та об'ємної маси сипких матеріалів	1.11.17-15.04.18	
6	Написання дисертаційної роботи з висновками	15.04.18-5.04.18	
7	Захист	15.05.18-25.05.18	

Студент

Є.М., Глінський

Науковий керівник дисертації

І.В., Коваленко

						Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

С.

Реферат. . . . .	.4
Вступ . . . . .	.7
1 Літературно-патентний огляд бункерів та їх класифікація . . .	.9
1.1 Класифікація бункерів за конструктивними ознаками. . .	.9
1.2 Розроблений патент на базі відомих бункерів . . .	.9
2 Аналітичний огляд об'єкту і предмету досліджень . . .	.15
2.1 Методи дозування . . . . .	.15
2.2 Класифікація пристроїв і способів дозування сипких матеріалів .	.17
2.3 Властивості і характеристики сипких матеріалів . . .	.21
2.3.1 Фізико-механічні властивості сипких матеріалів. . .	.25
2.3.2 Явище сегрегації. . . . .	.34
2.3.3 Взаємне розташування і упакування частинок. . .	.35
2.4 Склепіння. . . . .	.38
2.4.1 Фактори, що впливають на склепіння. . . . .	.41
2.4.2 Склепіння у добресипких кускових матеріалах. . .	.43
2.4.3 Склепіння у дрібнофракційних зв'язкових матеріалах. .	.46
Висновки до розділу 2. . . . .	.53
3 Дослідно-експериментальні дослідження бункерів. . .	.54
3.1 Опис і принцип роботи лінійного вагового дозатора. . .	.54
3.2 Опис і принцип роботи об'ємного дозатора. . . . .	.55
3.3 Аналіз фізико-механічних властивостей, що впливають на точність безперервного дозування сипких матеріалів. . . . .	.57
3.4 Методика проведення експерименту . . . . .	.63
3.4.1 Експериментальні дані. . . . .	.64

3.4.1.1	Конічний бункер.	. . . . .	.64
3.4.1.2	Асиметричний бункер.	. . . . .	.65
3.4.1.3	Пірамідальний бункер.	. . . . .	.66
3.5	Результати експериментів.	. . . . .	.67
3.5.1	Продуктивність для конічного бункеру.	. . . . .	.67
3.5.2	Продуктивність для асиметричного бункеру.	. . . . .	.68
3.5.3	Продуктивність для пірамідального бункеру.	. . . . .	.68
3.5.4	Графік залежності продуктивності від бункеру.	. . . . .	.69
3.5.5	Комп'ютерне моделювання.	. . . . .	.71
3.6	Аналіз результатів.	. . . . .	.74
4	Охорона праці і навколишнього середовища	. . . . .	.75
4.1	Виробничий шум.	. . . . .	.75
4.2	Заходи по забезпеченню повітря робочої зони	. . . . .	.76
4.3	Освітлення	. . . . .	.82
4.4	Небезпека ураження електричним струмом	. . . . .	.83
4.5	Основні методи захисту від ураження електричним струмом.	. . . . .	.84
4.6	Надзвичайні ситуації (пожежна безпека)	. . . . .	.87
5	Розроблення стартап-проекту	. . . . .	.91
5.1	Розробити ідею стартап проекту	. . . . .	.91
5.1.1	Сформулювати ідею широко	. . . . .	.91
5.1.2	Цільова аудиторія, клієнт.	. . . . .	.91
5.1.3	Конкуренти	. . . . .	.91
5.1.4	Основна конкурентна перевага	. . . . .	.91
5.1.5	Скільки потрібно грошей?	. . . . .	.91
5.1.6	Де шукати гроші?	. . . . .	.92
5.2	Аудит динаміки та основних тенденцій ринку	. . . . .	.93
5.2.1	Побудувати динаміку ринку за останні 5-8 років.	. . . . .	.93
5.2.2	На якому етапі життєвого циклу знаходиться Ваш ринок (виведення, зростання, насичення і стабільність, криза, падіння)	. . . . .	.93

5.2.3	Які основні майбутні тенденції можна спрогнозувати на цьому ринку (падіння, стабільність, зростання, турбулентність, ін.), виходячи з його сьогоденної динаміки? Чим це можна пояснити	.94
5.2.4	Які з такої динаміки ринку можна зробити висновки-прогнози для Вашого стартап-підприємства, що виводить на цей ринок інновацію?	.94
5.2.5	Хто є основними учасниками ринку. Розмір підприємства, основні маркетингові інструменти	.94
5.2.6	Які кольорові гами використовують підприємства на своїх Інтернет-ресурсах? Які основні творчі ідеї ними задіяні (консервативний образ або жартівливий стиль, елітність або спрощення, ін.)	.95
5.2.7	Який можна зробити висновок про основні конкурентні переваги кожної компанії, виходячи їх повідомлень на їх сайтах (стратегії позиціонування)	.95
5.2.8	Ширина і глибина представленого на сайті асортименту товарів і послуг	.96
5.3	Аналіз маркетингового середовища підприємства «UANorper»	.96
5.3.1	Аналіз внутрішнього середовища	.97
5.3.2	Динаміка ринку виготовлення бункерів	.98
5.3.3	Визначення етапу життєвого циклу товару	.98
5.4	Аналіз зовнішнього маркетингового середовища	.102
5.5	Аналіз конкурентів підприємства «UANorper»	.109
5.6	Ринкові стратегії підприємства «uanorper»	.112
	Висновки	.114
	Список літератури.	.115
	Додатки	.118

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Геометрія бункерів для оптимізації дозування сипких матеріалів» / НТУУ «КПІ ім.Ігоря Сікорського»; керівник Коваленко І.В. –К., 2018 – 131 с.; 29 іл., 42 табл.; 23 літ.джерел.

Об'єкт дослідження – бункер зі різними кутами сторін, для оптимізації процесу дозування сипких матеріалів.

Предмет дослідження – сипкі матеріали різної фракції та з різним кутом природнього укусу, бункери.

Мета роботи – Дослідити час дозування сипких матеріалів на бункерах з різною геометрією, націлених на максимальну точність та швидкість дозування

Результати наукової новизни отриманих результатів можна охарактеризувати наступним чином: на підставі аналізу фізико-механічних властивостей різних видів сипких матеріалів визначено підходи підвищення точності і продуктивності бункерів. На базі проведених досліджень виявлено раціональні співвідношення точності та швидкості дозування сипких матеріалів.

Галузь застосування – процеси дозування сипких матеріалів.

На базі досліджень було розроблено та отримано патент на бункер з різними кутами кожної з сторін

ДОЗУВАННЯ, СИПКІ МАТЕРІАЛИ, ЛІНІЙНИЙ ВАГОВИЙ ДЗАТОР, ОБ'ЄМНИЙ ДОЗАТОР, ТОЧНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, СКЛЕПІННЯ.

						Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на тему: «Геометрия бункеров для оптимизации дозирования сыпучих материалов» / НТУУ «КПИ им.Игоря Сикорского» руководитель Коваленко И.В. - М., 2018 - 131 с .; 29 ил., 42 табл .; 23 лит.джерел.

Объект исследования - бункер с различными углами сторон, для оптимизации процесса дозирования сыпучих материалов.

Предмет исследования - сыпучие материалы различной фракции и с разным углом естественного откоса, бункеры.

Цель работы - исследовать время дозирования сыпучих материалов на бункерах с различной геометрией, нацеленных на максимальную точность и скорость дозирования

Результаты научной новизны полученных результатов можно охарактеризовать следующим образом: на основании анализа физико-механических свойств различных видов сыпучих материалов определены подходы повышения точности и производительности бункеров. На базе проведенных исследований выявлено рациональные соотношения точности и скорости дозирования сыпучих материалов.

Область применения - процессы дозирования сыпучих материалов.

На базе исследований был разработан и получен патент на бункер с различными углами каждой из сторон

ДОЗИРОВКА, СЫПУЧИЕ МАТЕРИАЛЫ, ЛИНЕЙНЫЕ ВЕСОВОЙ
ДОЗАТОР, ОБЪЕМНЫЙ ДОЗАТОР, ТОЧНОСТЬ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ,
СВОДЫ.

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Master's dissertation on the topic: "Geometry of bunkers for optimization of dosing of bulk materials" / NTUU "KPI n.Igor Sikorskiy"; Head of Kovalenko I.V - K., 2018 - 131 s .; 29 il., 42 tables; 23 literary sources.

The object of the study is a hopper with different angles of the sides to optimize the bulk material dosing process.

The subject of research - bulk materials of different fractions and with different angle of natural slope, bunkers.

Purpose - To study the time of bulk material dispensing in bunkers of different geometry, aimed at maximum accuracy and rate of dispensing

The results of the scientific novelty of the results can be described as follows: on the basis of the analysis of physical and mechanical properties of different types of bulk materials, approaches to improving the accuracy and productivity of bunkers are determined. On the basis of the conducted researches rational correlations of accuracy and speed of dosing of bulk materials were revealed.

Field of application - processes of dosing of bulk materials.

On the basis of researches, a patent has been developed and received on a bunker with different angles of each of the parties

DOSAGE, SUGAR MATERIALS, LINEAR WEIGHT DETECTOR, BODY
COPYRIGHT, ACCURACY, PRODUCTIVITY, SCREW.

						Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвиток сучасної техніки передбачає значне підвищення продуктивності, економічності обладнання та технологічних процесів, неперервне зниження їх матеріало- та енергоємності, підвищення якості продукції, що випускається. Важливим елементом розвитку сучасного виробництва є розробка, вдосконалення, впровадження методів та обладнання для ефективного дозування сипкої продукції, які забезпечують максимально швидке та точне дозування.

На даний момент, спостерігаємо підвищення асортименту продовольчої продукції, з цього робимо висновок, що тара є незамінним та необхідним елементом для підтримання товарного вигляду та терміну придатності товарів.

На основі огляду новітньої науково-технічної літератури в даній галузі було проаналізовано ринок сипких матеріалів та способи їх дозування.

Об'єктом досліджень у магістерській дисертації є виготовлення прототипу бункеру, який забезпечує оптимальну швидкість та точність дозування, виключаючи при цьому можливість створення склепінь продукту.

Об'єкт розроблення – бункер зі сторонами під різним кутом, для продуктів з різним кутом природнього укусу.

Актуальність теми. Підвищення точності та швидкості дозування сипких продуктів є актуальною задачею, вирішення якої зменшує ризики виробника й покупця у переробній і харчовій промисловості. Але більшість виробництв України не можуть дозволити собі коштовне обладнання, а звичайні бункери не дозволяють точно та швидко дозувати сипкі матеріали. Це дозволяє стверджувати, що ступінь дослідження даної тематики явно недостатній, а проблема досліджень бункерів є актуальними.

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано на кафедрі хімічного, полімерного та силікатного машинобудування (ХПСМ).

Мета і завдання дослідження. Дослідити час дозування сипких матеріалів на бункерах з різною геометрією, націлених на максимальну точність та швидкість дозування.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

1. Дослідити час процесу дозування на конусному, пірамідальному, асиметричному бункері.
2. Встановити залежність продуктивності дозування від геометрії бункерів.

Об'єкт дослідження – продуктивність бункерів різного типу.

Предмет дослідження – сипкі матеріали різної фракції та з різним кутом природнього укосу.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. На підставі аналізу фізико-механічних властивостей різних видів сипких матеріалів визначено підходи підвищення точності і продуктивності бункерів.
2. На базі проведених досліджень виявлено раціональні співвідношення точності та швидкості дозування сипких матеріалів.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати проведених досліджень, за умови дотримання рекомендацій до вибору раціональних параметрів роботи асиметричного бункеру, можна використовувати для збільшення точності та якості дозування кінцевого продукту.

Заплановано впровадження результатів дисертації для підвищення продуктивності дозування на харчових та нехарчових промисловостях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 131 сторінок, в тому числі список використаних джерел з 23 найменуваннями на 3 сторінках.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД БУНКЕРІВ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

1.1 Класифікація бункерів за конструктивними ознаками

За конструктивними ознаками, зокрема, формою бункери бувають прямокутними, круглими (конічні, циліндричні — силоси, циліндроконічні, параболічні), чарунковими, щілинними, коритоподібними.

Випускний отвір бункера закривають затворами та живильниками.

За розташуванням відносно рівня землі бункери поділяють на підвісні та заглиблені в ґрунт.

Різновидом бункера є пересипні воронки і напівбункери, які мають менші розміри і, як правило, не споряджені затворами та живильниками.

Основне їх призначення — концентрація сипкого матеріалу. Вимоги до бункера — надійність завантаження та розвантаження, відсутність залипання вантажу, достатня ємність, мінімальне подрібнення при пересипах та зберіганні. Розмір випускного отвору бункера повинен бути в 3-5 разів більший максимального розміру грудок матеріалу. Місткість бункера може сягати 40—150 м³, а продуктивність 5—12 т/хв

1.2 Розроблений патент на базі відомих бункерів

Відомі бункери для сипучих матеріалів, наприклад, компонентів комбікормів, що включають встановлену на рамі закриту кришкою основу, до якої прикріплено знизу еластичні похилі стінки, що утворюють бункер у вигляді перевернутої піраміди, до зрізаної

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вершини якої кріпиться вивантажувальна горловина (див. проект фірми RIELA, Німеччина, 2010 р) [1].

Недоліком відомого пристрою є можливість утворення склепінь при підвищеній вологості матеріалів чи недостатньо подрібнених.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним, як прототип, є завантажувальний бункер для кускового матеріалу, що містить приймальну ємкість із бічними стінками, днищем і випускною горловиною [2].

Для зниження шансу утворення склепіння у зоні уступу, що демпфірує, закріплені сітки, за допомогою яких утворюють укис маси.

Завданням корисної моделі є удосконалення конструкції завантажувального бункера для матеріалу за рахунок утворення похилих стінок приймальної воронки, розміщення елементів, що демпфірують, закріплення звуковбирних елементів у сполученні з можливістю ізоляції пилоподібної фракції. Поставлене завдання вирішується за рахунок того, що завантажувальний бункер для матеріалу містить приймальну ємність із бічними стінками і випускною горловиною. Відповідно до корисної моделі, завантажувальний бункер постачений ізолюючою кришкою, при цьому сполучення бічних стінок із випускною горловиною приймальної ємкості утворює зони, що демпфірують, із захисного шару з дрібнофракційної сировини, сформованим під кутом природного укусу, при чому всі стінки приймальної ємкості повинні розташовуватись під різним кутом природнього укусу в деякому діапазоні, наприклад від 10 до 75°. Це дає змогу переробити різні матеріали на одній установці та запобігає склепінню для різних матеріалів

						Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заявлене технічне рішення ілюструється 3D моделлю та кресленнями, на яких представлений завантажувальний бункер для кускового матеріалу. Завантажувальний бункер для кускового матеріалу включає приймальну ємкість з випускною горловиною (Рис.1.1).

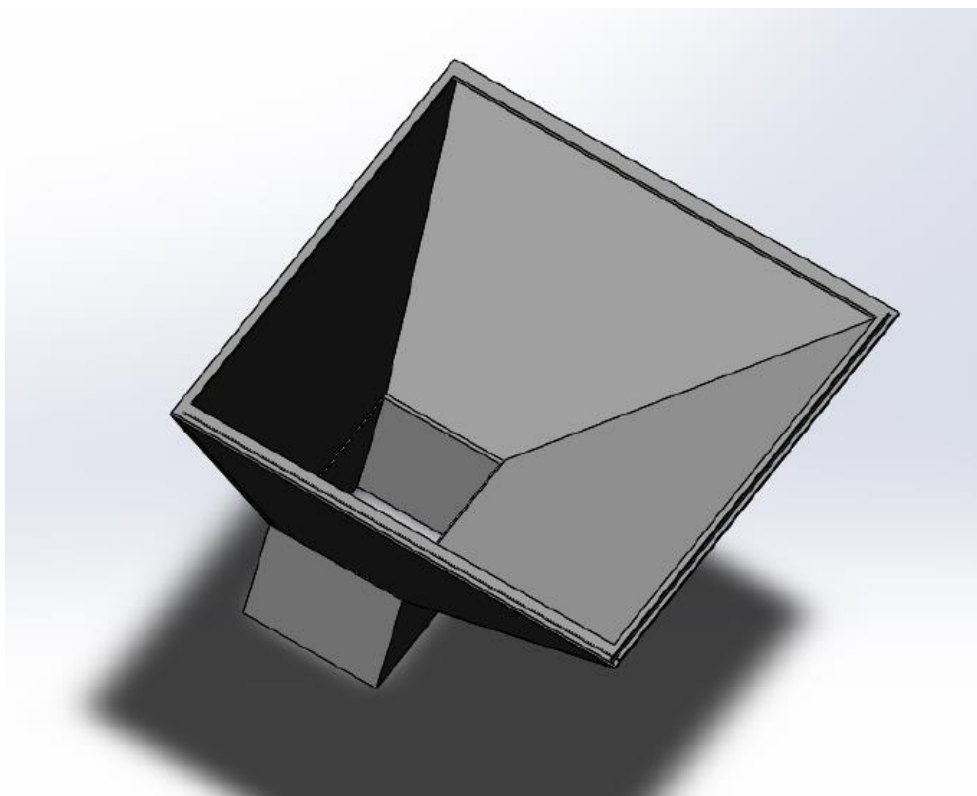


Рисунок1.1 3D модель бункера

Сполучення бічних стінок із випускною горловиною приймальної ємкості утворюють зони, що демпфірують, із захисного шару із дрібнофракційної сировини, сформованим під кутом природного укосу. Всі бічні стінки приймальної ємності, виконані похилими (Рис. 1.2).

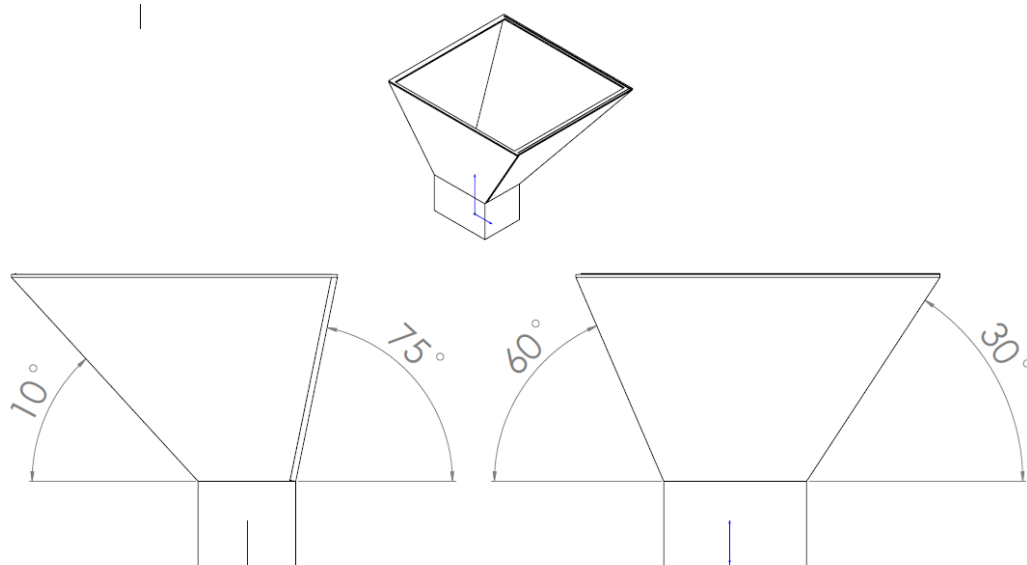


Рисунок 1.2 Зображення бічних стінок приймальної ємності

Кут між утворюючою поверхнею захисного шару на похилих стінках приймальної ємності і вектором напрямку потоку вихідного матеріалу, що надходить у приймальну ємність, знаходиться в діапазоні від 10 до 75°. На верхніх частинах бічних стінок приймальної ємності можуть бути закріплені звуковбирні щити. Такі ж щити можуть бути закріплені до ізолюючої кришки із зазором не менш 10мм. Бункер з боку подачі кускового матеріалу може бути постачений звукоізолюючим коробом, постаченим пилозахисними ущільненнями (на схемі не показані). Завантажувальний бункер для кускового матеріалу працює в такий спосіб. Завантажувальний бункер являє собою ємність із бічними стінками і випускною горловиною. Бункер встановлюють у місцях перевантаження гірської маси. Залежно від прийнятої технологічної схеми, гірська маса надходить із бункера на наступний транспортний засіб або безпосередньо в дробарку.

Після утворення бічного укусу шару, що демпфірує, гірська маса, переміщаючись по похилій площині, надходить безпосередньо у випускnu горловину. Проведені дослідження показали, що процес перевантаження гірської маси супроводжується значним пиловиділенням. Зниження цих негативних факторів забезпечується тим, що завантажувальний бункер постачають знімноюізолюючою кришкою, що забезпечує герметизацію простору прийомного бункера або доступ туди при виконанні ремонтних або профілактичних робіт. Крім того, завантажувальний бункер, із боку подачі кускового матеріалу, може бути постачений звукоізолюючим коробом з ползахисними ущільненнями. Зниження рівня шуму при зіткненні кусків із конструктивними елементами завантажувального бункера досягають двома шляхами. Перший шлях - збільшення довжини переміщення кусків по шару, що демпфірує, і максимальне зменшення кута зіткнення потоку гірської маси із похилою утворюючою шару, що демпфірує, а другий шлях - установка звукоізолюючих елементів. Збільшення довжини переміщення кусків по шару , що демпфірує, і максимальне зменшення кута зіткнення потоку гірської маси з похилою утворюючою шару, що демпфірує,досягають тим, що стінки приймальної ємкості, виконують похилими.Це дозволяє збільшити довжину утворюючої шару, що демпфірує, і погасити швидкість руху кусків маси. Дослідження показали, що мінімальний рівень шуму може бути досягнутий, якщо кут між утворюючою шару, що демпфірує, на похилих стінках і перетинання з ним осі потоку маси, що рухається, не буде перевищувати діапазону від 10 до 75°. Проведені експерименти показали, що при високій швидкості руху потоку маси великі куски витісняються на поверхню потоку, відділяються від нього і направлятися убік бічних стінок і ізолюючої кришки. Найбільш піддана впливу кусків, які рикошетили від похилого захисного шару, є протилежна стінка приймальної ємкості.

						Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зниження ударного впливу кусків, на цій стінці закріплюють із зазором не менш 5мм відбійний щит із пружного зносостійкого матеріалу. Експерименти показали, що в цьому випадку цей зазор забезпечує поглинання кінетичної енергії удару куска і попередження звукових коливань. Бічні стінки приймальної ємності, що паралельні осі напрямку потоку, менш піддані ударному впливу кусків. Однак, великі габаритні розміри бункера дозволяють говорити про можливість виникнення звуковим коливань стінок, що природно збільшує загальний шумовий фон. Експериментальне встановлено і одержало підтвердження на практиці, що значне зниження шуму досягається, якщо на верхніх частинах бічних стінок приймальної ємності закріплюють звуковбирні щити, наприклад, зі спіненого матеріалу, при цьому аналогічні ізолюючі щити закріплюють до ізолюючої кришки із зазором не менш 10мм. Завантажувальний бункер є одним із вузлів технологічного ланцюга по транспортуванню або переробки гірської маси. Це визначає її значні обсяги, що надходять у прийомну ємність і виходять у випускnu горловину. Промислове застосування заявленого пристрою дозволяє значно знизити шум, склепіння для різних матеріалів і пиловиділення при перевантаженні маси на дробильних фабриках гірничозбагачувальних комбінатів і підприємств будівельної промисловості. Пристрій характеризується значним експлуатаційним ресурсом при роботі із кусковою і високоабразивною масою.

						Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБ'ЄКТУ І ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методи дозування

Сипучі і рідкі матеріали дозуються об'ємним або ваговим методом. В окремих випадках застосовується змішаний метод – об'ємно-ваговий. При цьому зазвичай більш цінні матеріали дозуються по вазі, більш дешеві – за об'ємом.

Об'ємний метод. Дозувальне обладнання об'ємного принципу дії просте як за будовою, так і за експлуатацією. Однак порівняно низька точність дозування на цьому обладнанні обмежує його застосування. Невисока точність дозування окремих матеріалів тягне за собою, як правило, значні відхилення в складі шихти і призводить до зниження якості готових виробів і перевитрати вихідних матеріалів.

Внаслідок цього об'ємний метод застосовується рідше, особливо для значної кількості перероблюваного матеріалу. Виняток становлять рідини і порошкові матеріали постійного гранулометричного складу.

При об'ємному дозуванні рідин можуть бути досягнуті певні ідентичність і точність. Рухомість, здатність заповнювати ємності будь-якої форми, сталість об'ємної маси рідини дозволяють використовувати об'ємні мірники в широких межах. Тому у ряді технологічних процесів, при дозуванні сипких матеріалів ваговим методом, необхідні за рецептурою добавки рідин, виробляються за об'ємом.

Задовільні результати об'ємним методом можна отримати при дозуванні також порошкоподібних речовин постійного гранулометричного складу, несхильних до грудкування і злежування.

Відмірювання встановлених доз матеріалу за об'ємним методом дозування в найпростіших випадках проводиться ємностями або мірниками. Об'ємні мірники перед застосуванням повинні бути таровані і забезпечені чіткими і зручними для спостереження шкалами, що показують об'єм матеріалів.

						Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Градування шкал має відповідати точності дозування.

Співвідношення між масою і об'ємом матеріалу визначається рівнянням:

$$P = \gamma v, \quad (2.1)$$

де P – маса матеріалу у г або кг; γ – об'ємна маса матеріалу; v – об'єм у л або м³.

Результати дозування залежать від способу наповнення мірника. При плавному і спокійному завантаженні об'ємного мірника, маса дози виходить мінімальною. При ущільненні матеріалу у мірнику за допомогою додаткового навантаження або вібрацією, кількість матеріалу, що міститься в мірнику, збільшується і, відповідно, збільшується маса відмірюваної дози. Коефіцієнт ущільнення для різних матеріалів коливається в межах 1,1-1,5. Сухі легкосіпкі матеріали ущільнюються менше, ніж поганосіпкі з великим коефіцієнтом внутрішнього тертя.

Для отримання більш точних результатів об'ємного дозування необхідно дотримувати одноманітності в роботі, так як різна інтенсивність наповнення тари, зміна висоти, з якої надходить матеріал, зміна ступеня утрясання його в тарі – все це може призвести до значних коливань маси відміряної дози. Коефіцієнт заповнення барабана об'ємного дозатора залежить від сипучості матеріалу, розмірів впускний воронки, щілини барабана і т. п. Як правило, цей коефіцієнт встановлюється практично для кожного роду матеріалу і конструкції дозатора. Забезпечення заданої точності маси порцій матеріалу вимагає ретельної постановки процесу роботи. Слід періодично перевіряти отримані дози на контрольних вагах і при зміні маси дози приймати відповідні заходи.

Ваговий метод. При дозуванні матеріалів за масою виходять більш точні результати, ніж при дозуванні за об'ємом. Дозування матеріалів ваговим методом може в принципі проводитися на звичайних вагах: платформних, настільних, лабораторних, технічних – в залежності від маси

						Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заданих доз і інших умов процесу дозування. При використанні платформних вимірювачів з приладом для дозування сипких матеріалів, на платформі ваг встановлюється бункер необхідної ємності. Матеріал, що дозується, надходить з бункеру, вихідний отвір якого може перекриватися заслінкою. З бункером отвір з'єднується гнучкою манжетою. Відважена порція висипається через випускний рукав бункера, який регулюється заслінкою. Таким чином, операції з підведення матеріалу і пересипання його в тару відпадають. Для виходу повітря з бункера є спеціальна труба.

Подібний пристрій допускає досить точне відвантаження заданої дози. Так, наприклад, на дозаторі, влаштованому з товарних ваг з граничним навантаженням 500 кг, доза матеріалу 200 кг легко може бути відважу з точністю до 200 г або з похибкою 0,1%.

Таким чином, по точності показань ці ваги задовольняють вимогам дозування більшості технологічних процесів. Однак використання в якості дозаторів звичайних ваг, як правило, мало продуктивно. Відважування заданої дози на таких вагах вимагає значного часу. Одночасне спостереження за настанням рівноваги ваг і надходженням матеріалу незручно, внаслідок чого порція нерідко відважується неточно.

Більш раціонально для вагового дозування в сталому технологічному процесі застосовувати спеціальні ваги, пристосовані до умов даного процесу. В даний час спеціальні дозатори ручного дії, напівавтоматичні та автоматичні широко застосовуються в самих різних виробництвах.

2.2 Класифікація пристроїв і способів дозування сипких матеріалів

Сучасний розвиток обладнання ставить завданням організувати процес виробництва таким чином, щоб використовувати найменшу кількість одиниць обладнання, робити меншу протяжність транспортних ліній що, відповідно, приведе до зниження енергоспоживання. Також обов'язковою умовою є висока якість продукції, що випускається, експлуатаційна надійність обладнання при зростаючому рівні його автоматизації

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і забезпечення безпеки виробництва та комфортних умов праці для персоналу.

Якість кінцевого продукту в першу чергу залежить від точності дозування компонентів сумішей. Сипкі матеріали дуже важко точно дозувати вручну, тому на виробництвах застосовуються різні типи дозаторів.

До теперішнього часу розроблено безліч конструкцій дозуючих пристроїв.

Це пов'язано з тим, що потік сипкого матеріалу має широкий діапазон фізико-механічних і технологічних характеристик; крім того, до обладнання часто ставляться специфічні вимоги залежно від особливостей процесу.

Класифікацію типів дозаторів можна провести за трьома ознаками (рис. 2.1):

- за структурою роботи циклу;
- конструктивними ознаками;
- принципом роботи.

За структурою робочого циклу можна виділити дозатори безперервної дії і дозатори дискретної дії.

Вагові дозатори неперервної дії (ВНД) призначені для автоматичного відтворення заданих значень маси сипких матеріалів в одиницю часу (продуктивності), що транспортуються конвеєром, надходячи з приймальної формуючої воронки в технічних потоках різних галузей промисловості, сільського господарства і торгівлі.

Принцип дії дозатора заснований на перетворенні деформації пружних елементів ваговимірювальних тензорезисторних датчиків, що виникає під дією сили тяжіння вантажу, в аналоговий електричний сигнал, що змінюється пропорційно масі вантажу, а також на перетворенні лінійної швидкості транспортної стрічки в пропорційний їй частотний сигнал. Далі аналоговий електричний сигнал з ваговимірювальних датчиків і датчика швидкості надходить до ваговимірювального приладу. Значення продуктивності дозатора, швидкості стрічки і сумарної маси продукту відображається на ваговимірювальному приладу, на передній панелі якого розміщена клавіатура управління.

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

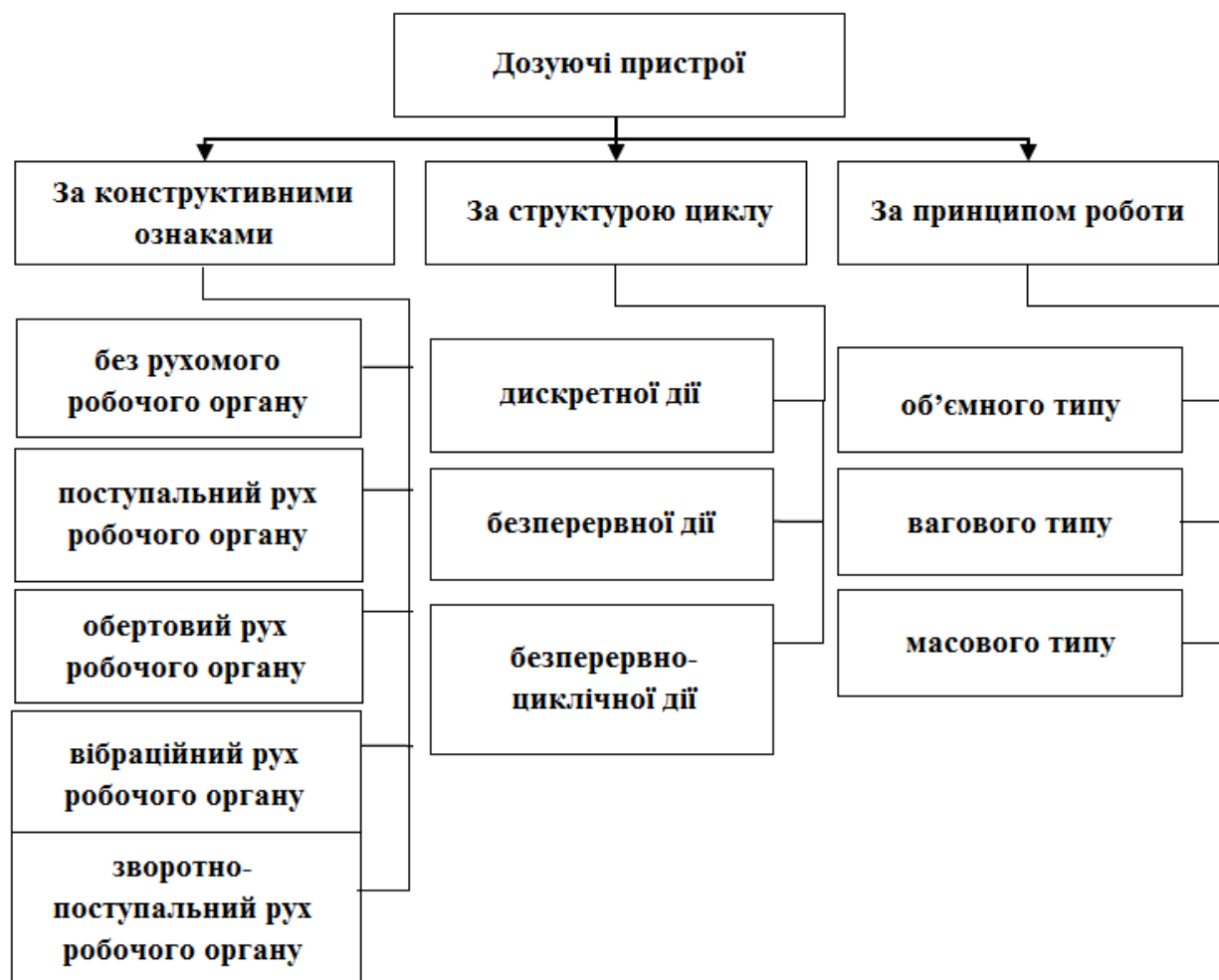


Рисунок 2.1 – Класифікація пристроїв дозування

Дискретні дозатори подають матеріал рівними порціями через задані проміжки часу. В даному випадку контролювати кількість дозованого матеріалу можна шляхом регулювання кількості порцій за одиницю часу або за об'ємом самої порції. Цей тип дозаторів є менш точним, але має такі переваги, як простота обслуговування і надійність при роботі у важких умовах.

В основному розрізняються три види дозування:

- об'ємне;
- вагове;
- масове.

Об'ємні дозатори. Пристрої цього типу призначені для роботи з сипкими та рідкими (іноді – газоподібними) речовинами. Даний тип дозаторів зручний в експлуатації, довговічний і надійний, проте володіє недостатньою точністю вимірювань при роботі з деякими видами продукції [3].

Вагові дозатори. Оптимальне рішення для дозування сипких матеріалів з фракціями будь-яких розмірів, а також рідин. Популярність цих пристроїв пояснюється їх універсальністю, оптимальною точністю і великою продуктивністю. Тензометричні ваговимірювальні пристрої, оснащені дозаторами цього типу, надзвичайно зручні в експлуатації – процеси зважування і дозування повністю автоматизовані, управління вагами зводиться до маніпулювання пристроєм завантаження. Єдиним недоліком вагових дозаторів є порівняно низька швидкість їх роботи [3].

Масові дозатори. Ці дозатори можуть однаково успішно застосовуватися для роботи з твердими, сипкими і в'язкими речовинами. Вони знаходять собі застосування в самих різних галузях промисловості. Масові дозатори поєднують в собі надійність, точність вимірювань і відносно високу швидкість роботи [3].

Класифікація дозуючих пристроїв за конструктивними ознаками є найпоширенішою. Найбільш суттєвою в цьому випадку є класифікація за видом руху і типу робочих органів дозувальних пристроїв.

На класифікацію дозуючого обладнання за конструктивними ознаками великий вплив мають фізико-механічні властивості матеріалу. В першу чергу це: розмір часток, насипна об'ємна маса, текучість, адгезія.

Середній розмір часток сипких матеріалів класифікується наступним чином:

- кускові ($d > 10$ мм);
- грубозернисті ($d > 2 \dots 10$ мм);
- дрібнозернисті ($d > 0,5 \dots 2,0$ мм);
- порошкоподібні ($d > 0,05 \dots 0,5$ мм);
- пилоподібні ($d < 0,05$ мм).

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для живильників, що застосовуються в процесі дозування сипких матеріалів, характерна робота з кусковими, грубозернистими та дрібнозернистими матеріалами. Також важливим фактором при виборі живильника є текучість матеріалу. Вона залежить від гранулометричного складу, форми і розміру часток, коефіцієнта внутрішнього тертя, вологості. Текучість сипких матеріалів визначає багато конструктивних особливостей дозуючих пристроїв. Вона впливає на тривалість операції заповнення і спорожнення змішувачів.

Наступний критерій, який впливає на класифікацію дозаторів за конструктивним принципом, – це насипна об’ємна маса. Даний параметр залежить від розміру частинок, з якого складається потік матеріалу, їх середньої об’ємної маси, вологості, щільності укладки частинок в шарі матеріалу. Щільність не залишається постійною навіть при спокої сипкого матеріалу. Під впливом вібрацій стінок посудини сипкий матеріал з часом ущільнюється, і його насипна об’ємна маса досягає деякого граничного значення. У процесі руху, переміщення або змішання, навпаки, відбувається розпушення матеріалу. Насипна об’ємна маса при цьому зменшується, наближаючись до граничного значення. За величиною насипної об’ємної маси розрізняють матеріали: легкі (до 600 кг/м^3), середні ($600 \dots 1100 \text{ кг/м}^3$), важкі ($1100 \dots 2000 \text{ кг/м}^3$), дуже важкі (більше 2000 кг/м^3) [4].

2.3 Властивості і характеристики сипких матеріалів

У техніці до сипких відносять матеріали, які допускають транспортування та зберігання навалом. Термін «сипкі» матеріали використовують для більшості матеріалів, які складаються із часток певних розмірів: пиловидних, порошкоподібних, зернистих і кускових. Об’єм сипкого матеріалу складається з різних по формі і розміру об’ємів дотичних твердих часток і пустот між ними, заповнених повітрям або рідиною. Частки, які утворюють структуру сипкого матеріалу, мають одна за одною різний зв’язок,

						Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який залежить від розміру часток, їх форми, вологості і т.д. Як правило, більшість сипких матеріалів мають складний фракційний склад і представляють собою сукупність часток з випадковим неупорядкованим розташуванням.

Природа сипких матеріалів не дозволяє віднести їх до твердих тіл або рідин. Здатність сипких матеріалів приймати форму судини і можливість руху потоком робить їх схожими на рідини. Разом з тим, кожна окрема частинка володіє усіма властивостями твердого тіла. Сипкі матеріали, які складаються з таких часток, здатні сприймати зовнішнє стискаюче навантаження, що робить їх схожими на тверде тіло. Однак, не дивлячись на ці схожості, сипкі матеріали у значній мірі відрізняються і від твердих тіл і від рідин.

Сипкі матеріали характеризуються сукупністю ряду параметрів. На відмінність від рідин вони мають обмежену рухливість, яка визначається силами взаємодії частинок у місцях контактів поверхонь. Ці сили залежать від сил тертя, які виникають при переміщенні одних часток відносно інших, і сил зчеплення, які визначаються фізико-хімічними мікроявищами.

Якщо сили зчеплення набагато менші сил тертя, матеріал рахують добресипким.

Вологі матеріали володіють великими силами зчеплення і, як правило, відносяться до поганосипких.

Сила зчеплення залежить від ступеню вологості, пористості, розміру і форми часток. Так як сили зчеплення пропорційні сумарній площині контактів між частинками матеріалу, то вони проявляються у великій степені як дрібнофракційні матеріали. Отже, чим менший розмір часток, з яких складається сипкий матеріал, тим більші сили поверхневого зчеплення між ними.

Тому кускові матеріали прийнято вважати добресипкими, а дрібнофракційні – поганосипкими матеріалами.

Якщо кусковий матеріал засмічений дрібними фракціями, які заповнюють простір між кусками, то здатність витікання такого матеріалу визначається

						Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

закономірностями витікання дрібних фракцій, оскільки у процесі витікання зазнають зсуву дрібні фракції. Великі частинки рухаються як одне ціле.

Основна властивість, яка впливає на процес дозування, являється сипучість, яка характеризується рухом матеріалу в площині поверхні ємності.

Вільно насипаний пухкий матеріал, насичений повітрям, не надає помітного опору тиску і витіканню. Якщо ж сипкий матеріал завантажити у бункер або іншу ємність (де відсутня можливість бічного розширення), ситуація різко змінюється. Під тиском маси верхніх шарів у матеріалі виникають напруги.

Пористість його зменшується, що призводить до збільшення об'ємної маси і числа точок контактів часток. При ущільненні матеріалу витискається повітря і виникають молекулярні сили, які сприяють зміцненню усієї системи. У результаті витікання сипких матеріалів із отворів часто ускладнено, що, крім того, зв'язано з особливостями розподілення тиску сипкого матеріалу по висоті ємності.

При рівному тиску степінь ущільнення багатьох матеріалів різна.

Ущільнення залежить від максимального тиску усередині матеріалу і впливає на його сипучість. Для того, щоб забезпечити сипучість матеріалу із отворів бункера, тиск всередині матеріалу повинен бути достатньо низьким.

Від внутрішнього тиску залежать сили тертя і зчеплення. Чим більший тиск у аналізованому елементарному об'ємі, тим більші сили тертя і зчеплення між частинками. Вивчення особливостей розподілення внутрішніх сил у завантаженому матеріалі – важка задача. Неможна також не враховувати такі специфічні властивості сипких матеріалів, як неоднорідність і здатність до змінення степеню зв'язності у часі. У силу вищесказаного доцільно звернутися до деяких полегшуючих допущень:

1. По Гячеву Л. В. [5] моделлю сипкого середовища будемо вважати тіло, яке складається з абсолютно твердих однакових за величиною кулеподібних часток, які знаходяться у взаємному контакті. Об'єм окремої частинки мізерно малий у порівнянні з об'ємом сипкого тіла.

						Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це припущення дозволяє приблизно рахувати завантажений матеріалом бункер суцільним середовищем, до якого можна застосувати поняття напруги, аналогічне тому же поняттю у механіці суцільних середовищ. Слідє відмітити, що для більшості ємностей, коли тиск всередині середовища досягає значних розмірів, об'ємна маса сипкого середовища наближується до об'ємної маси часток, з яких вона складається.

2. У процесі руху насипна об'ємна маса залишається постійною. На початку руху сипкого матеріалу з отворів бункера, частина опори всередині бункера втрачається, у наслідок чого змінюється тиск всередині матеріалу. Насипна об'ємна маса внаслідок розпушення зменшується, наближуючись до мінімального значення. У процесі витікання сипкий матеріал може або розширюватися, або стискатися у залежності від початкової об'ємної маси упаковки відповідно до тиску, який діє на її окремі частки. При цьому коефіцієнт щільності упаковки частинок сипкого матеріалу у результаті часткового ущільнення або розпушення прагне до деякого постійного значення, відповідного критичній об'ємній масі упаковки для даного матеріалу при сталому русі.

Будемо вважати, що при неперервному, без перешкод, витіканню насипна об'ємна маса практично залишається постійною. Якщо у процесі руху насипна об'ємна маса сипкого матеріалу залишається постійною, це рівнозначно нестискаємості.

3. Механічні властивості сипкого матеріалу у різних напрямках однакові.

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.1 Фізико-механічні властивості сипких матеріалів

Процес дозування безпосередньо залежить від фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу, тому їх особливості мають вирішальне значення при виборі усього комплексу дозуючих пристроїв. Спосіб транспортування сипкого матеріалу також суттєво впливає на визначення схеми дозування і на вибір необхідних дозуючих і допоміжних пристроїв. Наприклад, при пневмотранспортуванні зменшується число контактів часток матеріалу, що переміщується, унаслідок чого полегшується витікання продукту із ємності.

У процесі дозування сипких компонентів степінь рухливості часток має основне значення. Потрібно мати на увазі, що деякі порошкоподібні матеріали зовсім не піддаються точному дозуванню. Це відноситься в основному до гігроскопічних матеріалів з великими адгезійними силами. Необхідно враховувати, що деякі фізико-механічні властивості багатьох сипких матеріалів під впливом різних факторів (вологості, температури навколишнього середовища, а також унаслідок ущільнення) схильні до суттєвих змін. Для правильного здійснення процесу дозування необхідно знати характеристики і фізико-механічні властивості дозуємого матеріалу, тому розглянемо ті, що в той чи іншій степені впливають на процес дозування.

Гранулометричний склад сипкого матеріалу характеризується кількісним розподіленням складових часток за крупністю. Розмір часток матеріалу визначається найбільшим лінійним розміром (в мм).

Гранулометричний склад визначають ситовим аналізом – просіюванням зваженої проби через систему сит з каліброваними отворами різних розмірів (послідовно від великих до малих), у результаті відбувається розділення узятій проби на окремі фракції.

По величині остаточної фракції на кожному ситі визначають відсотковий зміст матеріалу даної крупності у пробі.

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гранулометричний склад матеріалу у ряду характеристик, визначаючих точність дозування, займає особливе місце. Зі збільшенням неоднорідності дозованого матеріалу збільшується значення миттєвого відхилення продуктивності живильників від середнього значення, збільшується похибка дозування. Сили зчеплення між частками у значній мірі залежать від гранулометричного складу. Гранулометричний склад визначається також деякими параметрами дозуючих пристроїв і особливо живлячих і транспортуючих механізмів.

Насипна маса визначається як відношення маси сипкого матеріалу до об'єму, який він займає (враховуючи пори і проміжки між окремими частинками) і виражається у кг/м^3 .

Насипна маса певного сипкого матеріалу непостійна. У залежності від фракційного складу, форми часток, ступеню наповненості пор вологою, ущільнення значення насипної маси одного й того ж матеріалу може відхилятися на 200-250%.

Вологість визначають як відношення маси води, що випарувалася (після сушіння) до маси усього матеріалу (у масових відсотках).

По складу вологи сипкі матеріали поділяють на: сухі, що містять конституційну вологу (хімічно зв'язану за матеріалом); що містять гігроскопічну вологу (гігроскопічна волога міститься у пористих сипких матеріалах, схильних до поглинання вологи з повітря, таких, як суперфосфат, аміачна селітра, сульфат натрію і інші); сирі і мокрі, що містять зовнішню вологу; зовнішня волога може бути плівковою, що утворює водяну плівку на поверхні часток сипкого матеріалу (у цьому випадку сипкий матеріал вважають сирим), і гравітаційної, що заповнює вільний простір між частинками (у цьому випадку сипкий матеріал вважають мокрим, так як він фактично перетворюється у суспензію).

Вологість сипкого матеріалу визначається рухливістю його часток.

Збільшення вологості, як правило, погіршує характеристику витікання сипкого матеріалу.

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сипкий матеріал зі збільшеною вологістю володіє великими силами зчеплення часток, що сприяє утворенню грудок і статичних склепінь над отвором воронки бункера. Витікання такого матеріалу із отвору ємності вкрай утруднено. Так, наприклад, у харчовій солі допустимий вміст води до 0,5%. Така сіль не затримується у бункері. При збільшенні вологості до 1% сіль втрачає сипучість, а вологості 2% залягає у бункері. В деяких випадках збільшення води (у певному інтервалі) тягне за собою зворотнє явище. Можна навести приклад з апатитовим концентратом, у якого при збільшенні води від 0 до 1% збільшується сипучість і характеристика витікання значно поліпшується. Зазвичай дрібнофракційні матеріали відносять до легкозв'язкових матеріалів, якщо їх вологість не перевищує 1,5%.

Кут природного укосу. При витіканні сипкого матеріалу на горизонтальну площину утворюється гірка з деяким кутом укосу, відповідним рівновазі часток. Кут між горизонтальною площиною і лінією укосу називають кутом природного укосу. Він являється найбільшим кутом, який може бути утворений площиною, і слугує одним з основних показників рухливості матеріалу. Його величина визначається силами тертя, котрі залежать від форми, розміру часток і вологості. Зволоження матеріалу призводить до збільшення кута природного укосу. У більшості випадків кут природного укосу сипких матеріалів не перевищує 55-60°.

Найбільша рухливість часток сипкого матеріалу відповідає мінімальному куту природного укосу, по мірі збільшення цього кута рухливість часток зменшується.

Кут природного укосу необхідно враховувати при визначенні поперечного перетину ланцюгового живильника і корисної ємності бункера.

Розрізняють кут природного укосу матеріалу у покої і у русі на поверхні транспортуючих пристроїв. При русі опорна горизонтальна площа коливається, величина кута природного укосу зменшується. Таким чином, кут природного укосу у покої завжди більше кута природного укосу у русі

						Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

($\varphi_{\text{рух}} \approx 0,7\varphi$). Кут природного укосу зазвичай визначають за допомогою спеціальних приладів. Іноді, якщо це необхідно, кут природного укосу с достатньою точністю може бути визначений наступним чином: відрізок циліндричної труби встановлюють вертикально на горизонтальну площину і заповнюють піддослідним матеріалом. Далі трубу повільно піднімають. матеріал, що висипався розташовується на площині під кутом природного укосу.

Рухливість часток прийнято оцінювати величиною початкового опору зсуву (τ_0), який характеризує зв'язаність сипкого матеріалу, визначаючи силу зчеплення часток, і виражається у Н/м². Початковий опір зсуву визначають у лабораторних умовах по здобутим даним побудовою графіку граничних дотичних напружень, тобто діаграмизалежності нормальних напружень і напружень зсуву, за допомогою яких визначається кут і коефіцієнт внутрішнього тертя (φ' , f). Таким чином встановлюють функціональну залежність між опором сипкого середовища зсуву і зовнішнім опором (нормальне напруження). Наближене значення початкового опору зсуву (в Н/м²) може бути визначено з наступної залежності:

$$\tau_0 = h_0 \gamma / 4, \quad (2.2)$$

де h_0 – висота вертикальної стінки, що вільно стоїть; γ – об'ємна маса сипкого матеріалу, Н/м³.

Висота вертикальної стінки, що вільно стоїть. Якщо у відкритому ящику, одна з стінок якого може переміщатися вертикально вниз, завантажити піддослідний матеріал рівними горизонтальними шарами, то при плавному опусканні зсувної стінки можна спостерігати наступне: у початковій стадії руху зв'язаний сипкий матеріал, який заповнює ящик, залишається нерухомим, і обвалення вертикального вільностоячого матеріалу не відбувається. При подальшому опусканні зсувної стінки після досягнення граничної висоти h_0 , вільно стояча стінка обрушується.

						Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт зовнішнього тертя сипкого матеріалу по твердій поверхні. Коефіцієнт тертя сипкого матеріалу по піддослідному матеріалу відповідає тангенсу кута, утвореного прямою з віссю абсциси у стані спокою матеріалу. Під кутом зовнішнього тертя слід приймати кут нахилу площини, при якій частинки матеріалу вільно скочуються. Кут тертя сипкого матеріалу по стінках бункера у будь-яких умовах не повинен бути більше кута внутрішнього тертя, бо інакше зсув відбувався би не по стінці бункера, а по поверхні всередині матеріалу, що проходить у безпосередній близькості. Від коефіцієнту внутрішнього тертя залежить обираємий кут нахилу стінки і ребер бункера.

Опір сипкого матеріалу зсуву по поверхні дотичних до нього стінок бункера підкорюється приблизно тим же закономірностям, що і внутрішній опір зсуву.

Граничний діаметр отвору склепіння. Найбільший отвір, при якому спостерігається склепіння, називають отвором склепіння.

Визначають отвір склепіння експериментально за допомогою пристрою. Діаметр отвору характеризує степінь зв'язаності матеріалу. Чим більший діаметр отвору склепіння, тим більш зв'язаним виявляється матеріал. Оцінку і порівняння властивості різних сипких матеріалів до витікання можна проводити по показникам граничного розміру отвору склепіння.

При добресипких матеріалах на розмір отвору склепіння впливає гранулометричний склад. Граничний діаметр отвору склепіння може бути визначений емпірично:

$$d_{\text{гр}} = Ae^{ba}, \quad (2.3)$$

де A і b – постійні ($A = 4,63$; $b = 0,244$); a – Найбільший розмір середньої частинки сипкої маси, мм; e – основа натурального логарифму.

Ця формула справедлива для часток з розмірами від 0,5 до 10 мм.

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт ущільнення сипкого матеріалу. На величину об'ємної маси сипкого матеріалу суттєво впливають особливості її формування, стан поверхні часток, умови руху і інше. Умови формування матеріалу визначають початковий коефіцієнт ущільнення і можуть досить суттєво змінювати його. Практично можна вважати, що на ущільнення сухих і вологих сипких матеріалів найбільший вплив оказують динамічні навантаження і вібрації; у результаті їх взаємодії сипкий матеріал зазнає структурне переформування – дрібні частки починають укладатися у пори між більш крупними. Таким чином відбувається ущільнення середовища. процес ущільнення сипкого матеріалу супроводжується витісненням повітря і утворенню молекулярних сил.

У результаті сипкий матеріал зміцнюється і його об'ємна маса зростає. Коефіцієнт ущільнення визначає степінь ущільнення сипкого матеріалу. Практично коефіцієнт ущільнення K_y зростає зі збільшенням коефіцієнту внутрішнього тертя f і може бути визначений з залежності:

$$K_y = 1 + 0,2f. \quad (2.4)$$

Для різних сипких матеріалів коефіцієнт ущільнення коливається з 1,05 до 1,52. Для легкосипких матеріалів коефіцієнт ущільнення має менше значення. Степінь ущільнення матеріалу є важливим фактором його сипучості. Ущільнення впливає на механічні властивості матеріалу і призводить до різкого зростання початкового опору зсуву.

Коефіцієнт ущільнення виражається відношенням маси ущільненого матеріалу до маси того ж об'єму до ущільнення.

Сипучість матеріалу – один з основних факторів, що впливають на точність дозування.

Сипучістю називають такий стан матеріалу, при якому між його частинками відсутній суцільний матеріальний зв'язок.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

У процесах дозування сипкий матеріал розглядається як комплексний показник цілого ряду фізико-механічних властивостей. Степінь сипучості характеризується кількістю матеріалу, яких проходить через одиницю площини випускного отвору за одиницю часу. При цьому необхідно враховувати, що крім фізико-механічних властивостей матеріалу на степінь сипучості здійснюють суттєвий вплив і інші фактори – розмір випускного отвору, параметри воронки (усічена піраміда, конус, кут розчину), а також висота шару засипки. Сипучість оцінюють часом висипання певної навіски піддослідного матеріалу із конусоподібної воронки з кутом розчину 60° через отвір діаметром 15 мм. Кількісно сипучість визначають також коефіцієнтом сипучості m (рухливості), який характеризує здатність складових часток сипкого матеріалу до відносної рухливості:

$$m = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}, \quad (2.5)$$

де φ – кут природного укосу.

Зв'язаність і злежуваність. Зв'язаними називають сипкі матеріали, які мають великий опір зсуву при невеликих нормальних навантаженнях. Зв'язаність визначають як опір сипкого матеріалу силам, які прагнуть роз'єднати його частинки, що є показником міцності їх зчеплення. Явище зв'язаності проявляється в основному у дрібнофракційних матеріалах. У сипучих матеріалах розрізняють дві зв'язаності – фізико-механічну і фізико-хімічну. Фізико-механічна зв'язаність характеризується фізико-механічними процесами, що проходять при взаємодії частинок сипкого матеріалу. Фізико-механічною зв'язаністю володіють багато пиловидних і порошкоподібних матеріалів (флотаційний сірковий колчедан, апатитовий концентрат і інші).

						Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При такій зв'язаності сили зчеплення залежать від вологості, ступеня подрібнення, форми часток, ступеню взаємного зближення часток і в основному визначаються ступеню ущільнення матеріалу під дією сжимаючих сил. Фізико-хімічна зв'язаність закладена у самій природі сипкого матеріалу і обумовлюється особливостями хімічного складу середовища, розчинністю, гігроскопічністю і іншими. Злежуваністю називають властивість деяких матеріалів втрачати сипучість при довготривалому зберіганні. Особливо сприятливі умови для злежуваності утворюються при довготривалому зберіганню сипких матеріалів в ємностях у нерухомому стані.

Під дією стискаючих сил у протязі тривалого часу багато сипких матеріалів здатні спресовуватися у конгломерати. Втрата рухомості по суті являється збільшенням зв'язаності.

Таким чином, явище злежуваності слід також розглядати як одну зі змін сил зчеплення часток сипкого матеріалу. Матеріали, що злежуються – сода, окис цинку, цемент, сніг та інші.

Зв'язаність і злежуваність є показниками міцності зчеплення часток сипкого матеріалу і визначаються у Н/см². Значно пришвидшує процес злежуваності динамічні навантаження. Присутні у сипкому матеріалу волога і пиловидні частки прискорюють процес злежуваності. Витікання такого матеріалу із отвору бункера вкрай утруднено. Спроба порушити зводоутворення вібрацією або ударом призводить у таких випадках до утворення пустот, стійкість яких залежить від сил зчеплення часток і діаметра отвору (рис. 2.2). Сипкі матеріали, що легко піддаються злежуванню утворюють великі труднощі при зберіганні і дозуванні.

Зависання – це один із різновидів застрявання сипкого матеріалу у бункері, що обумовлено особливостями витікання таких матеріалів.

Зависання поганосипкого в'язкого матеріалу найчастіше відбувається на похилих і навіть вертикальних стінках бункера, що говорить про значні сили зчеплення між частинками сипкого матеріалу і стінками бункера. Частинки настільки щільно прилипають до стінок, що спресовуються на них у

						Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

непорушний шар. У процесі експлуатації бункера товщина нерухомого шару поступово збільшується унаслідок налипання на нього нових часток.

Зависання – небажане явище, оскільки при цьому скорочується фактична ємність бункера, причому іноді до значних розмірів.

На практиці зустрічаються випадки зависання добресипких матеріалів. Однак це трапляється тільки на пологих або майже горизонтальних поверхнях бункерів, коли зовнішнє і внутрішнє тертя перешкоджає виходу частини матеріалу із бункера самопливом.

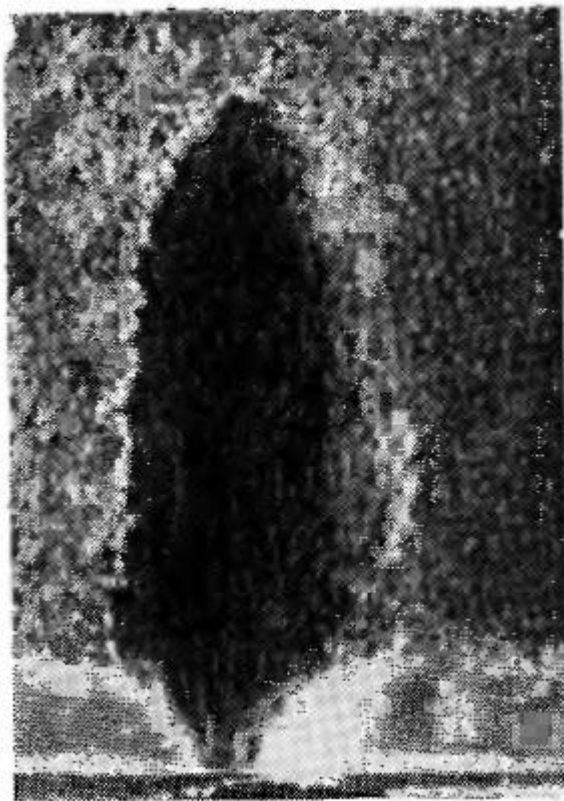


Рисунок 2.2 – Утворення пустот над випускним отвором

Склепіння – це різновид зависання сипкого матеріалу у зоні випускного отвору, коли при витіканні його над отвором бункера у воронці виникають зависання, які тимчасово або постійно перешкоджають витіканню по усьому периметру випускного отвору.

						Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Деякі сипкі матеріали мають схильність до утворення над випускним отвором стійких статичних склепінь, які мають таку стійкість, що подальше витікання неможливе до прийняття спеціальних заходів. Можливість утворення таких склепінь залежить від вологості матеріалу, в'язкості, гранулометричного складу і інших фізико-механічних властивостей. Стійкі склепіння можуть також виникати у результаті неправильного вибору типу бункера і випускного отвору (розмір, форма, розташування). Склепіння можливе навіть і в ідеальних матеріалах. На рисунку 2.3 показано статичне склепіння, утворене з металевих кульок. Склепіння дуже небажане явище, оскільки при цьому порушується процес дозування.

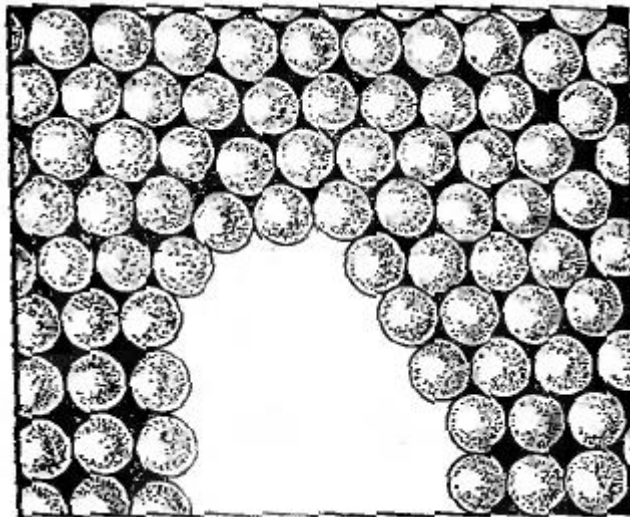


Рисунок 2.3 – Статичне склепіння із металевих кульок

2.3.2 Явище сегрегації

При заповненні ємності матеріалом, який має широкий діапазон по гранулометричному складу, спостерігається явище сегрегації частинок матеріалу.

Завантажений матеріал розташовується у бункері конусоподібно (під кутом природного укосу), причому крупні важкі фракції скочуються до стінок бункера, а дрібні частинки зосереджуються у зоні каналу витікання.

						Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Із отворів бункера уходять переважно дрібні фракції.

Тому матеріал, засипаний у бункер, відрізняється від того, що випускається фракційним складом. У випадку заповнення ємності сипким матеріалом, який є сумішшю різних фракцій, боротьба з сегрегацією часток є постійною проблемою. Сегрегацію слід вважати динамічним фактором, який виникає при вільному падінні часток.

Тільки у бункерах безперервної дії при однакових швидкостях завантаження і витікання з випускного отвору видається однорідна суміш, яка не відрізняється від завантаженої.

2.3.3 Взаємне розташування і упакування частинок

Основні показники, які характеризують фізико механічно властивості сипкого матеріалу (коефіцієнт внутрішнього тертя, насипна маса і інші), залежать від щільності упаковки взаємно розташованих частинок.

Цей взаємозв'язок відповідним чином відображається і на стані сипкого матеріалу, тобто його здатності до відносної рухомості.

Оберемо в якості моделі сипкого матеріалу тіло, у якому його складові частини є кулями. Встановимо можливі границі зміни коефіцієнту щільності упаковки куль рівного діаметру. Для цього визначимо найбільш можливе взаємне розташування кульових часток і взаємодію по утвореним між ними точками контактів. Слід врахувати, що у сипкому матеріалі зусилля (напруга) передається по точках контакту частинок.

Найбільш щільному розташування частинок відповідає найбільше число контактів однієї частинки. Таким чином, величина коефіцієнта щільності визначається числом контактів частинок сипкого тіла.

Розташування частинок на площині. На площині можна створити варіанти структур сипкого тіла з круглих частинок однакового розміру з числом контактів однієї частинки від двох до шести.

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.4 видно, що найбільшу щільність заповнення частинок на площині відповідає структурі, де кожна частинка (коло) торкається шести розташованих поруч частинок (кругів).

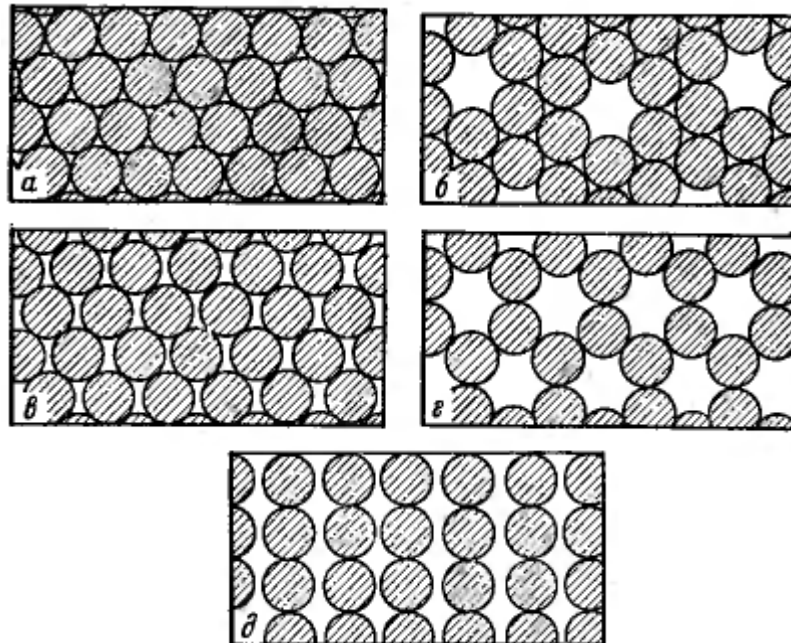


Рисунок 2.4 – Варіанти структур сипкого тіла з круглих частинок на площині з числом контактів частинок: а – 6, б – 5, в – 4, г – 3, д – 2

Розташування кулеподібних частинок у просторі. Розглядаючи можливі варіанти утворення структур сипкого тіла у просторі за допомогою упаковки куль, так само як і на площині, необхідно визначити число контактів однієї частинки. Якщо кожний шар знаходиться у контакті з шістьма іншими (з чотирма кулями того ж шару і по одному з верхнім і нижнім шаром), то просторова решітка має сторону розміром $2r$, яка утворена кубами. Таке упакування називається кубічним і є найпростішим (центри суміжних куль по вертикалі лежать на одній прямій). Якщо кожний елемент елементарного кубу об'ємом $V = (2r)^3$ містить один контакт кожної з шести куль, то щільність даного упакування складе: $K_{\text{щ}} \approx \pi/6 \approx 0,52$.

На рисунку 2.5 показана структура сипкого тіла з щільністю гранецентрованого упакування частинок (куль). У даній структурі кожна куля знаходиться у контакті з дванадцятьма іншими (кожна куля одного шару у контакті з шістьма кулями іншого шару). Кожна з куль даного шару знаходиться у заглибинах, які утворені трьома кулями нижнього і верхнього шарів.

Об'єм одиничної комірки дорівнює: $V = (2r)(r\sqrt{3})(2r\sqrt{2/3})$.

Щільність упаковки даної структури складе: $K_{щ\gamma} \approx \pi/3\sqrt{2} \approx 0,74$.

Таким чином, теоретично коефіцієнт щільності упаковки для куль рівного діаметру може змінюватися від $K_{min} = 0,52$ до $K_{max} = 0,74$.



Рисунок 2.5 – Щільність гранецентрованого упакування кульових частинок у просторі

Теоретичного обґрунтування більш щільного упакування частинок у просторі нема. Тому у результаті проведених аналізів структур сипких тіл з різним розташуванням частинок (куль) у просторі [6] найбільш щільною можна вважати структуру, де кожна частинка знаходиться у контакті з дванадцятьма іншими.

Слід мати на увазі, що у процесі витікання із ємності під впливом гравітаційних сил і внутрішніх сил тертя кожної структури властива неперервна зміна контактних зв'язків. Зі збільшенням числа контактів деформація середовища зменшується, оскільки збільшується опір постійно діючими силами.

2.4 Склепіння

Статичні склепіння можуть виникати при заповненні ємності сипким матеріалом (рис. 2.6). Крім цього, склепіння можуть утворюватися у процесі витікання матеріалу, якщо напруга, яка виникає у матеріалі, не перевищує його міцності. Якщо площа отвору не досягає граничного значення, спостерігається утворення стійкого склепіння. При цьому із отвору висипається тільки частина матеріалу, який знаходиться всередині склепіння, далі витікання припиняється. В цьому легко переконатися, якщо посудину з отвором на донці закрити засувкою або заслінкою, засипати сирий пісок, а потім відкрити заслінку, частина піску вивалиться на заслінку, а над отвором утвориться склепіння (рис. 2.7). Якщо тиск маси матеріалу перевищує силу зчеплення частинок, склепіння руйнується і починається рух. Порушення статичної рівноваги сипкого матеріалу обумовлено переходом потенціальної енергії частинок в кінематичну. Процес розпушення йде по напрямку вгору і охоплює усю масу. До теперішнього часу повністю не досліджено фізичну суть явища склепіння, і ступінь впливу різних факторів (не завжди відомих) на процес склепіння практично важко оцінити. Тому існуючі теорії не достатньо повно відображають фізичну картину утворення статичних склепінь над отвором. Частота виникнення стабільного склепіння залежить від параметрів ємності, властивостей і стану матеріалу (дисперсності, сил зчеплення і форми часток тощо), а також від технологічних причин, оскільки фізичні процеси, які змінюють фізико-механічні властивості сипкого середовища, проявляються з часом.

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

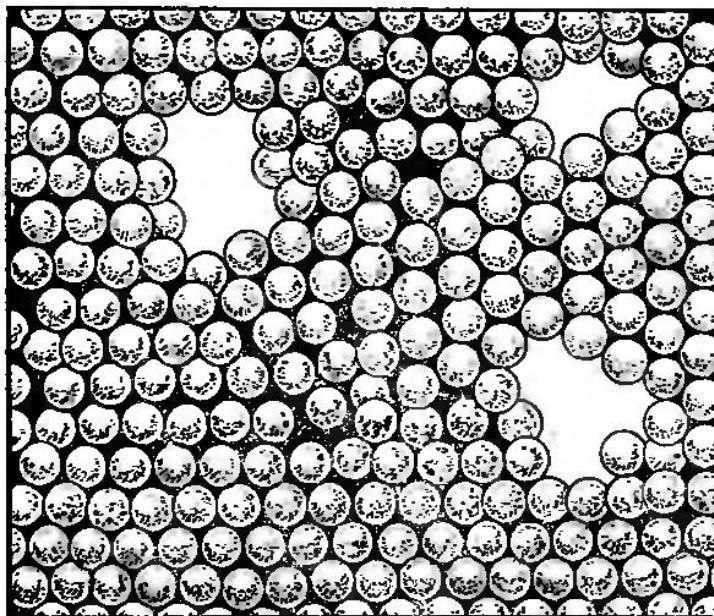


Рисунок 2.6 – Явище склепіння у процесі заповнення ємності

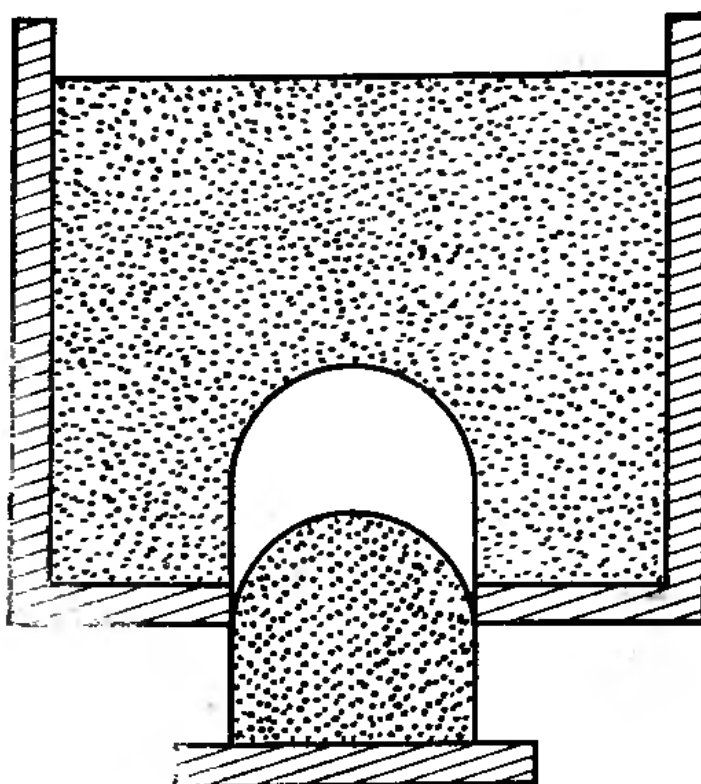


Рисунок 2.7 – Явище склепіння у момент відкриття випускного отвору

Вплив цих факторів неможливо передбачити теоретично. Склепіння визначається випадковим взаємним просторовим розташуванням частинок, які опиняться безпосередньо над отвором у цей момент. Чіткої границі між стійким і нестійким станом склепіння немає.

Тривалість існування склепіння обумовлена положенням частинок у масі склепіння і над ним, а також навантаженням. Виявити динаміку взаємного впливу різних факторів на процес склепіння дуже важко. Основні параметри бункеру і сипкого матеріалу до теперішнього часу не враховуються у єдиній залежності.

На практиці руйнування стійких склепінь найчастіше пов'язане з труднощами через відсутність прямого доступу до склепінь. Дослідження явища склепіння при витіканні сипкого матеріалу із ємності і вплив різних взаємозалежних факторів на процес склепіння, а також визначення заходів по попередженню і ліквідації склепіння становить велику наукову і практичну цінність.

Зазвичай розрізняють два типи перешкод при витіканні сипкого матеріалу [5]: склепіння (припинення витікання – закупорка) і утворення перемичок (обмеження витікання – як її функція, що утворює гальмові імпульси). Багато хто з дослідників вважають склепіння неминучим структурним станом сипкої маси при її витіканні з отвору ємності. Формування такої структури пояснюється сукупністю ряду взаємозалежних факторів. Так, наприклад, у процесі руху сипкого матеріалу із бункер з більш широким перерізом у отворі воронки, що звужується, виникає стиснення потоку і зближення частинок проміжного шару. У цих умовах частинки проміжного шару, які розташовуються по діаметру отвору, зчіплюються одна з одною і утворюють перемичку. Перемичка викликає додатковий опір руху, який заважає звуженню потоку, витримуючи великі стискуючі зусилля збоку стінок бункера (рис. 2.8, а). Зі зменшенням перетину бункера виникнення і руйнування перемичок стає неперервним фактором, який збільшує їх міцність і стійкість. Склепіння природної рівноваги утворюють опір руху по всьому перетину бункера, сприймаючи зусилля у осьовому напрямку, і майже не перешкоджають звуженню струї (рис. 2.8, б). Процес виникнення і руйнування склепінь протікає одночасно з утворенням і руйнуванням перемичок.

						Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

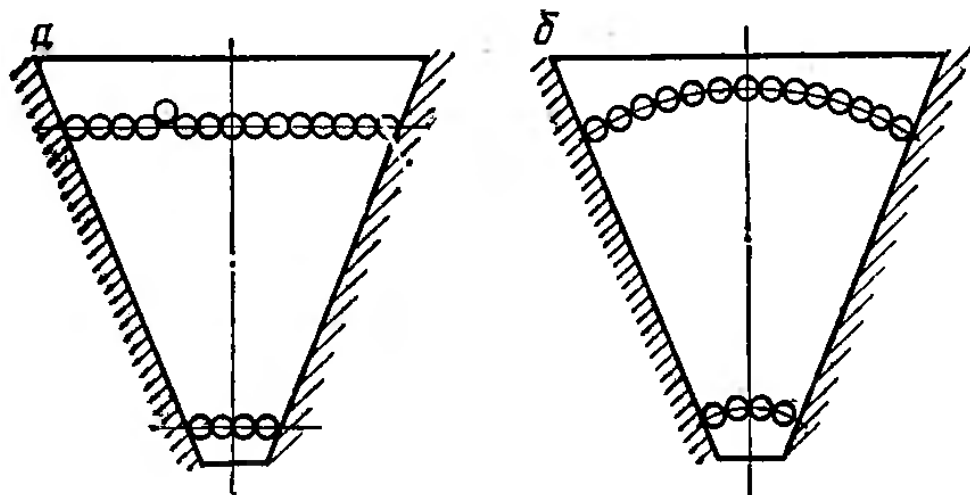


Рисунок 2.8 – Додаткові опори руху: а – перемички; б – склепіння

Вплив перемичок і склепінь на витікання сипкого матеріалу зростає зі зменшенням перетину бункера.

2.4.1 Фактори, що впливають на процес склепіння

Численними дослідженнями процесу склепіння було встановлено лише деякі залежності, які пояснюють явище цього процесу.

Насамперед на процес склепіння впливають фізико-механічні властивості сипкого матеріалу, які можуть істотно змінюватись у процесі завантаження і зберігання у бункері, а також і при витіканні з нього. Крім цього, процес склепіння залежить від геометричних параметрів бункера (залежності між розмірами випускного отвору і частинок матеріалу, кута нахилу стінок донця бункера тощо). Встановлено, що мінімальний розмір отвору склепіння воронки бункера в першу чергу залежить від початкового зсуву дозованого матеріалу, причому ця величина, в свою чергу, у більшій степені залежить від ущільнюючого тиску. Вплив ущільнення сипкого матеріалу на характер витікання практично не враховується, тому що відсутні залежності фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу від його стану напруги.

Зміна хоча б однієї з фізико-механічних властивостей матеріалу (вологості, гранулометричного складу тощо), неминуче впливає на інші його властивості, які, у свою чергу, також впливають на процес склепіння.

Наявність настільки великого числа взаємопов'язаних факторів, які важко піддаються диференціації, призвело до необхідності вивчення сумарного впливу фізико-механічних властивостей на процес склепіння.

Дослідження показали, що склепіння залежить від зв'язаності матеріалу, яке характеризується початковим опором зсуву (τ_0) [7-9]. Оскільки значення початкового опору зсуву можливо завжди визначити у лабораторних умовах, цей висновок має більш практичне значення. Вплив інших факторів на процес склепіння буде мати значення тільки у тих випадках, коли під їх впливом змінюється початковий опір зсуву.

Розрізняють два види стійких статичних склепінь, які утворюються у бункерах:

1. Утворення склепінь у кусковому матеріалі у результаті заклинення кусків, які мають випадкове розташування. Куски матеріалу застрягають у зоні випускного отвору. Таке склепіння утримується у рівновазі внаслідок тертя між окремими кусками, п'ятою склепіння і стінками бункеру. У цьому випадку стійкість утвореного склепіння майже не залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу; на неї впливають лише прогін склепіння, кут нахилу стінок донця тощо.

2. Утворення склепінь у дрібнофракційному матеріалі внаслідок зв'язаності (зчеплення частинок). У цьому випадку на процес склепіння впливають не тільки перераховані фактори, але й фізико-механічні властивості сипкого матеріалу (об'ємна маса, вологість тощо).

Слід мати на увазі, що незалежно від природи статичного склепіння, його утворення можливо усунути, якщо правильно обрати розмір випускного отвору. Щоб забезпечити безперешкодне витікання сипкого матеріалу із бункера, його випускний отвір повинен бути більший, ніж отвір склепіння.

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.2 Склепіння у добресипких кускових матеріалах

Основні розміри склепіння (максимальна висота і граничний отвір склепіння), а також його розташування відносно отвору залежать від кута нахилу стінок донця до горизонту і розміру випускного отвору. Утворюване при витіканні кускових матеріалів склепіння уявляє собою комбінацію послідовно з'єднаних кусків, які знаходяться в умовах рівноваги. Порушення рівноваги одного з елементів склепіння призведе до руйнування усієї системи.

Чим менший прогин склепіння, тим більша ймовірність того, що склепіння буде міцним і стійким. Для одного й того ж кускового матеріалу ймовірність виникнення стійкого склепіння збільшується також зі збільшенням розміру кусків.

Припустимо, що ймовірність порушення вимог рівноваги – μ – однакова для усіх елементів склепіння, тоді ймовірність їх збереження буде рівна $1 - \mu$. Ймовірність утворення статичного склепіння системи послідовно з'єднаних елементів η можна виразити у вигляді формули:

$$\eta = (1 - \mu)^n, \quad (2.6)$$

де n – число кусків, з яких складається склепіння.

Простежимо на прикладі, як змінюється ймовірність утворення склепіння η в залежності від числа кусків n . Якщо число кусків у склепінні збільшити у два рази при $\mu = 0,5$ отримаємо: при збільшенні числа кусків від 3 до 6 ймовірність склепіння зменшиться у 8 разів, а від 4 до 8 – у 16 разів, від 5 до 10 – у 32 рази і так далі.

Степінь зменшення ймовірності стійкого склепіння знаходиться також у залежності від абсолютної величини μ . Так, при $\mu = 0,8$ і збільшенні n від 3 до 6 η зменшиться у 125 разів, а від 4 до 8 – у 625 разів.

						Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експериментально доведено, що для кускових матеріалів, які не володіють зв'язаністю, склепіння повністю виключається у тих випадках, коли розмір випускного отвору перевищує розмір найбільшого куса.

Розглянемо залежність процесу склепіння від кута нахилу до горизонту стінок донця бункера.

Для параболічного склепіння горизонтальну складову тиску P , яка від склепіння передається на стінки бункера (рис. 2.10, а), можна визначити по наступній залежності:

$$P = \frac{Gb}{2 \operatorname{tg} \beta'_0}, \quad (2.7)$$

де G – навантаження на одиницю горизонтальної проекції склепіння, Н/м; b – горизонтальна проекція склепіння, м; β_0 – кут нахилу дотичної до склепіння у точці його дотику до стінок бункера, град.

Рівняння (2.7) показує, що на величину P , впливає кривизна склепіння, яка характеризується кутом β'_0 . Однак, навіть при постійному куті нахилу, склепіння можуть по-різному розташовуватися всередині бункера і мати різну кривизну, тобто $\beta_{0\max} \geq \beta_0 \geq \beta_{0\min}$.

При крутих склепіннях, коли $\beta_0 > \beta_{0\max}$, п'ята склепіння, опираючись на стінку бункера, сповзає по цій стінці вниз і рівновага склепіння порушується.

При пологих склепіннях (рис. 2.9, б), коли $\beta_0 < \beta_{0\min}$, п'ята склепіння може переміститися вгору.

Рівновага п'яти залежить від відношення сил, які прагнуть її здвинути, і сил тертя, які утримують її у рівновазі.

При крутих склепіннях (рис. 2.9, а) сила F_l , яка направлена вгору, долає силу зсуву G_l , умови рівноваги визначають рівнянням:

$$\beta'_0 = 90^\circ - \alpha_1 + x, \quad (2.8)$$

						Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де α_1 – кут нахилу стінок бункера; x – кут між напрямом тиску п'яти склепіння на стінку бункера і нормаллю до стінки.

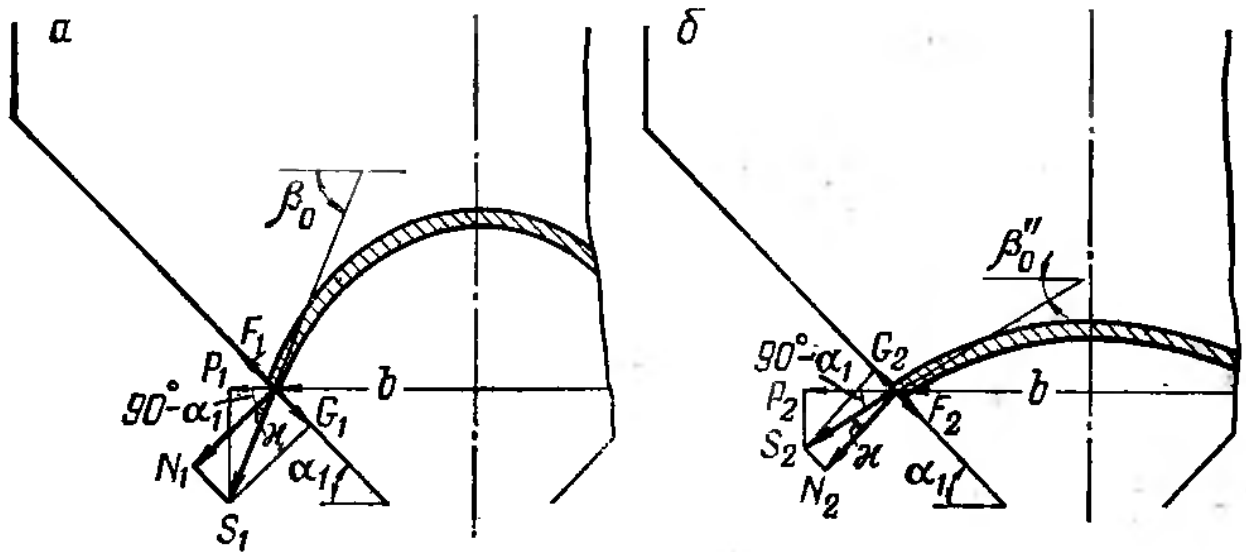


Рисунок 2.9 – Рівновага п'яти: а – при крутому склепінні; б – при пологому склепінні

Як видно з рисунку 2.9, б, при пологих склепіннях сила тертя F_2 , яка направлена вниз, утримує п'яту від переміщення нагору:

$$\beta_0'' = 90^\circ - \alpha_1 - x. \quad (2.9)$$

Рівновага зберігається при умові, що утримуючі і зсувні сили рівні між собою. Тоді формули (2.8) і (2.9) мають вигляд:

$$\beta_{0_{max}} = 90^\circ - \alpha_1 + \varphi, \quad (2.10)$$

$$\beta_{0_{min}} = 90^\circ - \alpha_1 - \varphi. \quad (2.11)$$

де φ – кут тертя матеріалу о стінки бункера.

Величина розпору для крутих склепінь буде дорівнювати:

$$\rho_{min} = G(b/2) \operatorname{tg} (\alpha_1 - \varphi), \quad (2.12)$$

для пологих склепінь:

$$\rho_{max} = G(b/2) \operatorname{tg} (\alpha_1 + \varphi), \quad (2.13)$$

З рівнянь (2.12) і (2.13) слідує, що розпір склепіння збільшується при збільшенні кута нахилу стінок донця α_1 . У роботі [10] вказується, що при $\alpha_1 \geq 60^\circ$ пологі склепіння, що утворюються, володіють високою міцністю і важко піддаються руйнуванню, так як виникаючі сили тертя у таких випадках набагато перевищують сили, які зсувають п'яту.

Рівняння (2.12) і (2.13) мають практичне значення при розрахунку бункерів для кускових матеріалів, хоча при виведені цих рівнянь зроблені істотні спрощення.

Процес склепіння кускових матеріалів досліджений достатньо добре і данні теорії добре узгоджуються з практичними результатами.

2.4.3 Склепіння у дрібнофракційних зв'язкових матеріалах

Склепіння у дрібнофракційних зв'язкових матеріалах ще не досліджено у повному обсязі. Найбільшу цікавість у цій області являють роботи Р. Л. Зенкова [11]. Експериментальні дослідження на моделі підтверджують, що на склепіння дрібнофракційних матеріалів впливають наступні фактори: фізико-механічні властивості і тривалість зберігання матеріалу, а також форма і розмір випускного отвору. Утворення статичного склепіння у зв'язкових дрібнофракційних матеріалах можна пояснити тим, що по лінії склепіння виникають напруги стиснення (з кінцевим значення σ_n) у напрямку дотичної до лінії склепіння, у той час як у напрямку нормалі до лінії склепіння

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

напруги рівні нулю. На рисунку 2.10, а, показано схему утворення склепіння. Для утворення статичного склепіння необхідно, щоб вертикальна дотична сила, яка діє по периметру випускного отвору, могла витримувати масу матеріалу над отвором.

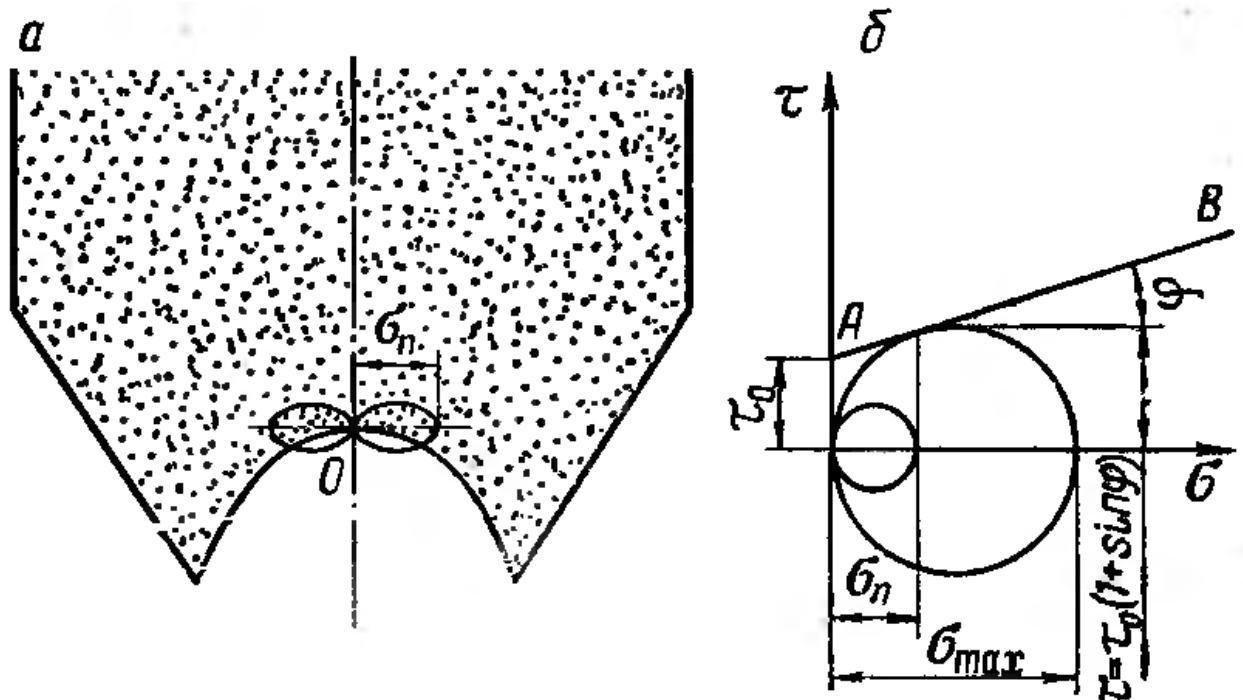


Рисунок 2.10 – схема утворення склепіння (а) і граничні дотичні напруги (б)

Контури склепіння зазвичай співпадають з траєкторією головних найбільших напруг. Напруга стискання σ_n досягає максимального значення у основі склепіння. Напруга тим більша, чим більший випускний отвір. Максимально допустима величина цієї напруги σ_{max} , що відповідає стану рівноваги даного матеріалу, визначається колом напруг, дотичних одночасно вісі τ і лінії граничних дотичних напруг AB (див. рис. 2.10, б). Такий стан напруги може виникати тільки при певному розмірі випускного отвору (склепіння). Якщо розмір випускного отвору перевищує розмір склепіння, напруга стискання перевищить величину σ_{max} . При цьому у матеріалі відбудуться пластичні деформації, рівновага склепіння порушиться і почнеться безперешкодне витікання матеріалу

					Арк.
					50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Р. Л. Зенковим [11] графоаналітичним методом була отримана залежність процесу склепіння від фізико-механічних властивостей середовища для дрібнофракційних матеріалів, перевірена експериментально на моделях бункерів:

$$R = \frac{\tau_0(1 + \sin \varphi_1)}{\gamma}, \quad (2.14)$$

де R – гідравлічний радіус отвору склепіння, м; τ_0 – початковий опір зсуву, Н/м²; φ_1 – кут внутрішнього тертя, град.; γ – питома маса матеріалу, Н/м³.

Визначення висоти склепіння. Основними параметрами, які характеризують статичне склепіння, є форма кривої, максимальна висота і граничний отвір склепіння. Форма склепіння і його розташування відносно вертикальної вісі, що проходить через вершину склепіння, залежать від фізико-механічних властивостей середовища і геометричних параметрів бункера. Роботи ряду дослідників підтверджує, що крива склепіння являє собою параболу.

У літературі наведено різні математичні описи для визначення висоти склепіння (див. табл. 2.1).

Усі наведені формули вказують на залежність висоти склепіння від прогину отвору і фізико-механічних властивостей.

Із розрахункових рівнянь максимальної висоти склепіння слідує, що зі збільшенням розміру випускного отвору висота склепіння збільшується без обмежень. Однак утворення статичного склепіння можливо тільки при збільшенні випускного отвору до граничного розміру отвору склепіння.

						Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Визначення висоти склепіння

Автор	Посилання	Формула для визначення висоти склепіння
Р. Л. Зенков	[11]	$h_{\text{ск}} = \alpha \frac{1 + \sin \varphi_1}{4 \cos \varphi_1} \quad (2.15)$
Енгессер	[12]	$h_{\text{ск}} = r \operatorname{tg} \varphi_1 / 2 \quad (2.16)$
М. М.	[13]	$h_{\text{ск}} = b / f_{\text{м}} \quad (2.17)$
Протодьяконов		$a h_{\text{ск}} = \operatorname{tg} \varphi_1 + \tau_0 / \sigma \quad (2.18)$
К. І. Куценко	[14]	$h_{\text{ск}} = 2r \quad (2.19)$
А. А. Маликян	[15]	$h_{\text{ск}} = \frac{0,36 + 0,02a^2}{2} \quad (2.20)$
І. А. Новокрещенцев	[16]	<p>для щілинного отвору:</p> $h_{\text{ск}} = \frac{\left(\frac{\gamma b}{n} - \tau_0\right) 2b}{\operatorname{tg} \varphi \gamma b + \tau_0 \sin \varphi} \quad (2.21)$ <p>для круглого і квадратного отвору:</p> $h_{\text{ск}} = \frac{\left(\frac{\gamma b}{n} - 0,5\tau_0\right) b}{\operatorname{tg} \varphi (\gamma b + 0,5\tau_0 \sin \varphi)} \quad (2.22)$

У рівняннях прийняті наступні умовні позначення: a – прогин отвору; φ_1 – кут внутрішнього тертя матеріалу; r – радіус отвору; b – $\frac{1}{2}$ ширини випускного отвору; $f_{\text{м}}$ – коефіцієнт міцності, який враховує зв’язаність матеріалу штучним збільшенням його коефіцієнту тертя; τ_0 – початковий опір зсуву; σ – нормальна напруга; n – коефіцієнт бокового тиску.

У роботі [12] досліджувалася конфігурація склепінь над отворами при витіканні муки. Було встановлено, що склепіння у цих умовах являють собою параболоїди оберту. Для визначення висоти склепіння $h_{\text{ск,р}}$ можна скористатися рівнянням для об’єму параболоїда оберту:

					$v_n = 1/2\pi r^2 h_{\text{ск,р}} \quad (2.23)$	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Якщо виразити величину $v_{\text{п}}$ через масу муки і її насипну масу $\gamma_{\text{м}}$, отримаємо:

$$h_{\text{ск,р}} = \frac{2v_{\text{п}}}{\pi r^2} = \frac{2G}{\gamma_{\text{м}} \pi r^2}. \quad (2.24)$$

Як показали спостереження, фактична висота склепіння ($h_{\text{ск,ф}}$) більша розрахункової $h_{\text{ск,р}}$.

$$h_{\text{ск,р}} = (1,15 - 1,2) h_{\text{ск,ф}}. \quad (2.25)$$

Чисельно висота склепіння зазвичай не перевищує розміри випускного отвору. При квадратному отворі висота склепіння наближається до розміру його сторони, при круглому – до діаметру, а при прямокутному і щілиноподібному отворах – до їх ширини.

Склепіння над круглим отвором. На рисунку 2.11 показана схема утворення склепіння на круглим отвором.

Виділимо елементарний об'єм $abba$ у товщі сипкої маси, яка утворює склепіння, за допомогою вертикальної циліндричної поверхні з твірною ab і поверхнями головних напружень aa і bb .

						Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

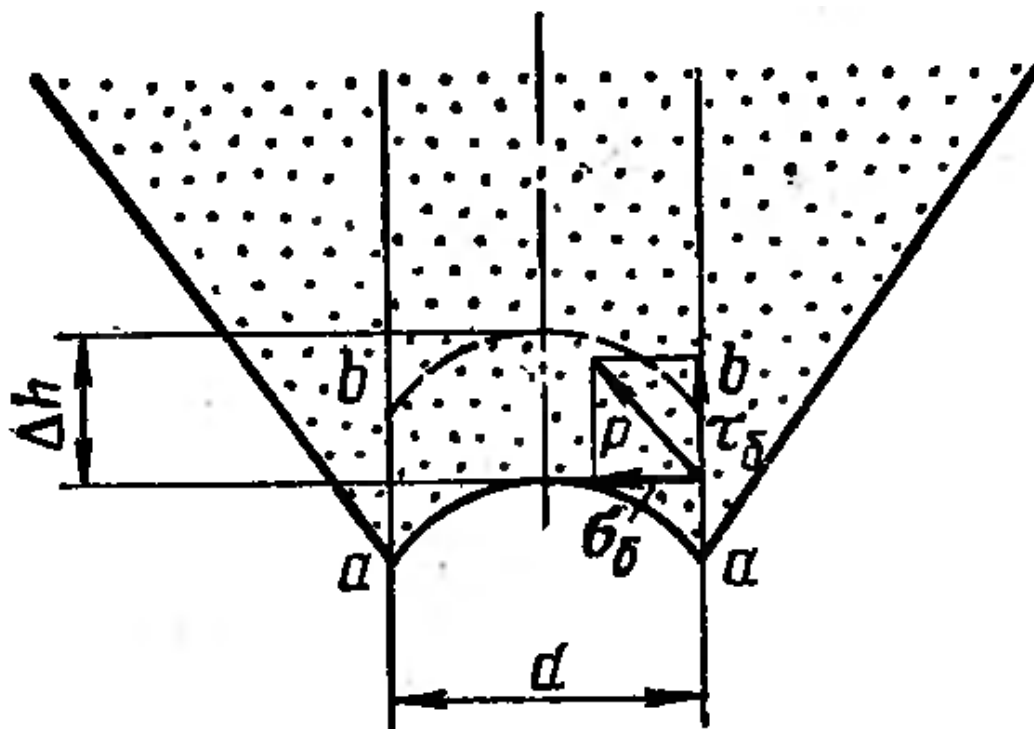


Рисунок 2.11 – Схема утворення склепіння над круглим отвором

Визначимо масу виділеного елемента:

$$G = \frac{\pi d^2}{4} \Delta h \gamma. \quad (2.26)$$

Умова рівноваги виражається залежністю:

$$G = \tau_{\delta} \pi d \Delta h. \quad (2.27)$$

Прирівнюючи праві частини обох рівнянь, отримаємо:

$$d = \frac{4\tau_{\delta}}{\gamma}. \quad (2.28)$$

Підставивши граничні значення τ_6 з формули (2.28), отримаємо необхідний діаметр отвору, який виражається через параметри сипкого матеріалу:

$$d = \frac{4\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}. \quad (2.29)$$

Склепіння над отвором довільної форми. Визначити розміри отвору склепіння довільної форми точно не вдається. Умовно допустимо, що дотичні напруження по всьому периметру отвору приблизно постійні, тоді умови рівноваги для стійкого склепіння виражається залежністю:

$$F \Delta h \gamma = L \Delta h \tau_6, \quad (2.30)$$

де F – площа отвору; L – периметр отвору.

Тоді гідравлічний радіус дорівнює:

$$R = F/L = \tau_6/\gamma. \quad (2.31)$$

Припустимо, що у всіх точках периметру отвору сипкий матеріал знаходиться у стані граничної рівноваги, тоді, підставивши формулу (2.26) і значення τ_6 з формули (2.28), отримаємо вже відому формулу:

$$R = \frac{\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}, \quad (2.32)$$

по якій можна приблизно визначити розмір отворів склепіння довільної форми. Так, наприклад, для квадратного отвору зі стороною a :

						Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R = a^2/4a = \frac{\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}, \quad (2.33)$$

звідки

$$a = \frac{4\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}. \quad (2.34)$$

Для прямокутного отвору зі сторонами a і b :

$$R = \frac{ab}{2(a + b)} = \frac{\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}, \quad (2.35)$$

звідки

$$a = \frac{2\tau_0 b(1 + \sin \varphi)}{b\gamma - 2\tau_0(1 + \sin \varphi)}. \quad (2.36)$$

Загальний вираз для визначення ширини отвору склепіння можна записати так:

$$a = \frac{2\tau_0(1 + \sin \varphi)}{K'\gamma}. \quad (2.37)$$

де $K' = 0,5$ для круглого, квадратного і трикутного отворів; $K = 1$ – для щілиноподібного отвору.

Висновки

1. Розглянуті методи дозування сипких матеріалів.
2. Наведена класифікація пристроїв і способів дозування.
3. Розглянуто властивості, що мають сипкі матеріали і фактори, що впливають на точність їх дозування.

						Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БУНКЕРІВ

3.1 Опис і принцип роботи лінійного вагового дозатора

На рисунку 3.1 зображена схема експериментальної установки. Матеріал з бункеру 1 подається в лоток 5. Його подача регулюється шторкою 4. Електромагнітний вібратор створює коливання лотка, за рахунок чого продукт просувається по лотку до вивантажувального пристрою 8. Тензометричний датчик 9 подає сигнал про формування дози на блок керування 6. Коли потрібна доза сформована, продукт вивантажується через воронку 7 у ємність, яка стоїть на підставці пакувального стола 3. 1 – бункер; 2 – електромагнітний вібратор; 3 – пакувальний стіл; 4 – шторка; 5 – лоток; 6 – блок керування; 7 – воронка; 8 – вивантажувальний пристрій; 9 – тензодатчик; 10 – пружина.

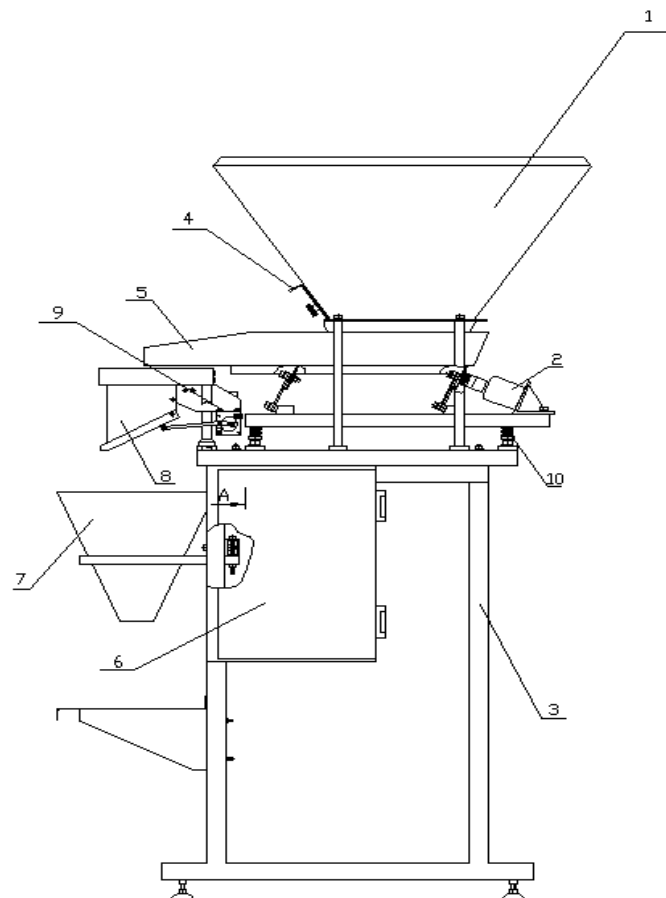


Рисунок 3.1 – Схема лінійного вагового дозатора

						Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дозатор обладнаний блоком управління «ДИСКРЕТ-43», призначеним для автоматичного дозування сипких продуктів. Блок управління виконаний у якості універсального пристрою з програмним керуванням і автономним живленням. Вимірювальна частина блока управління розрахована на підключення тензометричного датчика ваги з номінальним значенням вимірюваної маси 5 кг і робочим коефіцієнтом передачі (РКП) рівним 2 мВ/В. Однак, можна використовувати датчики з діапазоном вимірюваної ваги до 25 кг. Верхня границя вимірювань датчика не повинна бути меншою за сумарне значення маси дозованого продукту і дозуючого ковша. Особливість режиму дозування – це циклічна робота. Протягом одного циклу набираються потрібна маса (доза) і відбувається її розвантаження.

3.2 Опис і принцип роботи об'ємного дозатора

Експериментальна установка становить собою об'ємний дозатор. Схема дозатора представлена на рисунку 3.2. Установка складається з насипного бункера 1, з якого подається матеріал, рухомого диска 2, який має отвір для засипання продукції. До рухомого диска кріпляться дозувальні стаканчики 3. Нерухомий диск 4, який має отвір для висипання дозованого матеріалу, жорстко встановлений на валу 5, який може змінювати відстань між дисками за допомогою важеля з гвинтом 6. Рухоме колесо приводиться в рух за допомогою шайби 9, яка отримує обертання від електродвигуна 7 (MS6324) через редуктор 8. Розподільчий пристрій малого бункера 10 кріпиться на металеву раму. Вмикання дозатора відбувається за допомогою електронного пристрою 11. Частота обертання двигуна становить 1340 об/хв. Дозувальний стаканчик має циліндричну форму; основні розміри:

$$d = 110 \text{ мм}, h = 100 \text{ мм}$$

						Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

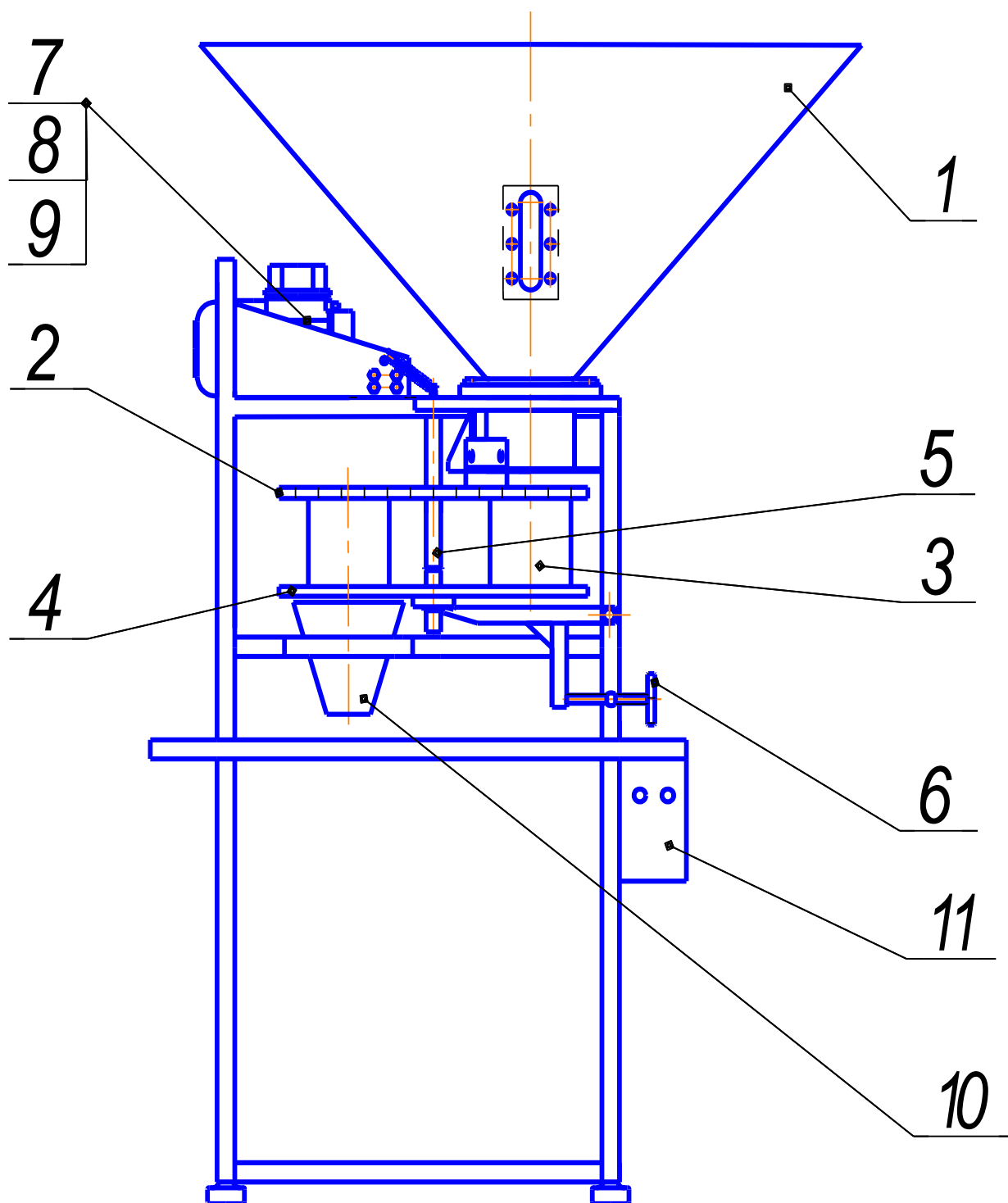


Рисунок 3.2 – Схема об'ємного дозатора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

59

3.3 Аналіз фізико-механічних властивостей, що впливають на точність безперервного дозування сипких матеріалів

Зі збільшенням неоднорідності дозованого матеріалу зростає значення миттєвого відхилення продуктивності живильників від середньої величини, збільшується похибка дозування [11]. Гранулометричний склад сипкого матеріалу характеризується кількісним розподілом складових часток за їх величиною.

Вологість сипких матеріалів впливає на такі властивості, як: текучість, коефіцієнт внутрішнього тертя, об'ємна маса і т.д. [11, 16].

Збільшення вологості, як правило, погіршує характеристику витікання сипкого матеріалу. Одним з основних показників рухливості сипкого матеріалу є кут природного нахилу, який визначається силами тертя, які залежать від форми, розміру часток і вологості. Тангенс кута природного нахилу α – це коефіцієнт внутрішнього тертя сипкого матеріалу $f' = \operatorname{tg} \alpha$. Коефіцієнт зовнішнього тертя сипкого матеріалу по випробуваному матеріалу відповідає тангенсу кута нахилу поверхні, при якій частки матеріалу скочуються. Кут тертя сипкого матеріалу о стінки бункеру в будь-яких умовах не повинен бути більше кута внутрішнього тертя, так як зрушення відбувалося б не по стінці бункеру, а по поверхні усередині матеріалу, який проходить в безпосередній близькості від неї [17].

Частинки сипких матеріалів здатні прилипати до твердих поверхонь. Ця властивість, як і у випадку прилипання рідин до підкладок, називають адгезією [18]. Адгезія частинок до твердих поверхонь обумовлена силами, які різні за своєю природою: молекулярними, капілярними, електричними і кулонівськими. Різна природа складових сили адгезії не дозволяє знайти єдиний засіб до її зниження [18, 19]. Сили адгезії можна оцінити величиною сили відриву $F_{\text{відр}}$.

Припустимо, що частинки сипкого матеріалу масою m з коефіцієнтом тертя f_d рухаються по похилому живильнику, де відбувається тільки

						Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ковзання матеріалу по його поверхні, без переміщення часток всередині сипкого матеріалу.

Розглянемо основні сили, що діють на частинки сипкого матеріалу, які рухаються по похилій площині вниз: сила тертя $F_{\text{тер}}$, спрямована паралельно похилому живильнику, і сила тяжіння G .

Коефіцієнт тертя спокою f_0 чисельно дорівнює тангенсу граничного кута нахилу поверхні, при якій сипкий матеріал починає рухатись [18]. З

урахуванням сили відриву $F_{\text{відр}}$ представимо силу тертя, яку повинні подолати частинки для початку руху по похилій площині [19]:

$$F_{\text{тер}} = f_0 v (\rho_1 - \rho_2) g \sin \alpha, \quad (3.1)$$

де v – об'єм частинок, що відриваються;

ρ_1 – об'ємна маса частинок;

ρ_2 – густина навколишнього середовища (повітря або рідина);

g – прискорення сили тяжіння;

α – кут нахилу живильника.

Рівняння, яке констатує рівність збільшення кінетичної енергії частинок роботі, сили, що зміщується на шляху L по похилому живильнику має вигляд [18]:

$$\frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} = (mg \sin \alpha - mg f_0 \cos \alpha)L, \quad (3.2)$$

де V_1 початкова швидкість руху частинок по площині;

V_2 – швидкість частинок сипкого матеріалу на виході з живильника.

Дане рівняння справедливе при виконанні наступної умови [19]:

$$\alpha_{\text{вн}} > \alpha > \alpha_{\text{рух}}, \quad (3.3)$$

						Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\alpha_{\text{вн}}$ – кут внутрішнього тертя частинок сипкого матеріалу;

$\alpha_{\text{рух}}$ – кут нахилу живильника, при якому сипкий матеріал починає рухатись.

Вирішуючи рівняння відносно V_2 , отримаємо:

$$V_2 = \sqrt{2gL(\sin \alpha - f_d \cos \alpha) + V_1^2}, \quad (3.4)$$

У роботі [11] вводиться множник $\left(1 + \frac{nh}{b}\right)$, який враховує опір бічних стінок похилого живильника з прямокутною формою перетину, рекомендована величина якого вибирається від 1,2 до 1,4. З урахуванням цього V_2 визначається як:

$$V_2 = \sqrt{2gL \left(\sin \alpha - f_d \left(1 + \frac{nh}{b} \right) \cos \alpha \right) + V_1^2}, \quad (3.5)$$

Вологість дозованого матеріалу істотно впливає на коефіцієнт його тертя по поверхні живильника, а отже, і на силовий вплив на ваговимірювальний датчик [18].

Основний фактор, що визначає статичне навантаження живильника, – сила тертя, що діє між стрічкою і підтримуючими її роликami. Згідно з методикою розрахунку [20], миттєва маса сипкого матеріалу на стрічці живильника визначається з рівності:

$$m_{\text{мит}} = \rho_n S_{\text{пл}} L_{\text{ж}}, \quad (3.6)$$

де ρ_n – насипна об'ємна маса;

$S_{\text{пл}}$ – поперечна площа перерізу матеріалу на живильнику;

$L_{\text{ж}}$ – довжина живильника.

						Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насипна об'ємна маса визначається як добуток коефіцієнта розпушення $K_p = 0.567 \dots 0.9054$ на об'ємна маса ρ сипкого матеріалу, тоді з урахуванням вологовмісту W рівняння прийме вигляд [19]:

$$m_{\text{мит}} = K_p \rho (1 + W) S_{\text{пл}} L_{\text{ж}}, \quad (3.7)$$

Погонна маса сипкого матеріалу визначається за формулою:

$$m_{\text{пог}} = K_p \rho (1 + W) S_{\text{пл}}, \quad (3.8)$$

У роботі [20] коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу на стрічці живильника визначається як відношення площі вантажу на стрічці до площі його поперечного перерізу (робиться припущення, що вантаж розташований на стрічці живильника у формі еліпсу, а сипкий матеріал – частинки круглої форми), та визначається у вигляді рівняння:

$$K_p(r) = \frac{\pi(0.64B^2 + 1.6Br)}{2\sqrt{3}(0.64B^2 + 2.34Br + 2.92r^2)} \quad (3.9)$$

де B – ширина стрічки живильника;

r – радіус частинок.

Дане рівняння не враховує вологу, яка заповнює пори навіть між самими дрібними частинками, але в цілому справедливе. Враховуючи це, об'єднаємо K_p і $(1 + W)$ в один коефіцієнт розпушення, що враховує вологовміст сипкого матеріалу:

$$K_{\text{рв}} = K_p (1 + W), \quad (3.10)$$

Перетворимо рівняння для визначення сили опору на прямолінійній ділянці живильника з урахуванням вологовмісту сипкого матеріалу [35]:

						Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta F_n = K_{рв} \rho S_{пл} L_{ж} \left(k_n \left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2f_k}{D} \right) \cos \varphi + \sin \varphi \right), \quad (3.11)$$

де k_n – результуючий коефіцієнт опору руху на прямолінійній ділянці, що приймає значення від 1.1 до 1.3;

μ – коефіцієнт тертя в підшипниках;

f_k – коефіцієнт тертя роликів і котків;

D, d – зовнішній та внутрішній діаметр роликів;

φ – кут нахилу живильника.

На ділянках вигину сила опору руху визначається з рівняння [35]:

$$\Delta F_u \approx T_{нб} \left(\xi + \frac{2\mu d}{D} \sin \frac{\theta}{2} \right), \quad (3.12)$$

де ξ – коефіцієнт опору руху від вигину тягового елемента;

$T_{нб}$ – натяг у точці набігання ділянки;

θ – кут, утворений сектором початку і закінчення ділянки вигину.

Результуюча сила опору (розрахункове статичне навантаження F_0) руху визначається як сума сил всіх ділянок. Враховуючи те, що в даній роботі розглядається тільки одна прямолінійна ділянка, отримаємо:

$$F_0 = \sum_{i=1}^n \Delta F_n i + \sum_{i=1}^n \Delta F_u i, \quad (3.13)$$

$$F_0 = K_{рв} \rho S_{пл} L_{ж} \left(k_n \left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2f_k}{D} \right) \cos \varphi + \sin \varphi \right). \quad (3.14)$$

Динамічне навантаження приводу живильника виникає в процесі пуску і визначається рухомими масами живильника і його приводу [21]:

$$F_{дин} = \sum_{i=1}^n m_i a_{\Pi} + (J_{дв} i_p^2 + J_{\Pi}) \frac{a_{\Pi}}{R_{\Pi}^2}, \quad (3.15)$$

де $F_{дин}$ – динамічна сила на приводному барабані радіусом R_{Π} ;

						Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

m_i – маса рухомих елементів прямолінійної ділянки з масою елементів попередньої ділянки вигину;

$J_{дв}, J_{п}$ – моменти інерції двигуна та приводу;

i_p – передавальне число редуктора приводу;

$a_{п}$ – прискорення живильника при пуску.

Відповідно до розрахункового статичного навантаження $F_{ст}$ визначимо потужність електроприводу живильника:

$$P_c = \frac{V_k K_3 K_{рв} \rho S_{пл} L_{ж} \left(k_n \left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2f_k}{D} \right) \cos \varphi + \sin \varphi \right)}{2 i_p \eta_p}, \quad (3.16)$$

де V_k – швидкість руху стрічки живильника;

η_p – коефіцієнт корисної дії редуктора електроприводу;

K_3 – коефіцієнт запасу, що приймає значення від 1.1 до 1.3.

Визначимо момент опору M_o на валу асинхронного електродвигуна при відомому передавальному числі редуктора:

$$M_o = \frac{K_3 K_{рв} \rho S_{пл} L_{ж} D_n \left(k_n \left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2f_k}{D} \right) \cos \varphi + \sin \varphi \right)}{2 i_p \eta_p}, \quad (3.17)$$

де D_n – діаметр приводного елемента.

Для запобігання передчасного старіння і відмов асинхронного електродвигуна через виплавляння обмоток ротору [20], при виборі двигуна необхідно керуватися таким принципом: електромагнітний момент асинхронного електродвигуна повинен бути рівний або перевищувати момент опору M_o .

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Методика проведення експерименту

Досліди дозування проводилися за наступним алгоритмом: частинки обраного сипкого матеріалу з різними фракціями та різними кутами природнього укосу завантажувались у три різні бункери послідовно, після чого піддавалися дозуванню порціями 2 кг. Під час дозування замірявся час, за який формувалася готова порція продукту.

Перед проведенням експериментів, було здійснено декілька пробних запусків для кожного з бункерів, під час яких було встановлено, що більш точні результати були отримані при повній загрузці бункера.

Під час експерименту змінювався тип сипкого матеріалу. Для кожного типу сипкого матеріалу, було проведено по 3 заміри.

Після отримання усіх експериментальних даних, було пораховано продуктивність для кожного типу бункеру та сипкого матеріалу за допомогою програмного забезпечення «Mathcad Prime», за наступним алгоритмом:

- 1) Додається 3 вимірювання для кожного типу дозованого матеріалу та ділиться на кількість вимірювань, тобто 3, для визначення середнього значення:
- 2) Обчислюється продуктивність, шляхом ділення маси продукту на час дозування:

						Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4.1 Експериментальні дані

У якості матеріалів було вибрано 5 матеріалів з різним кутом природнього укусу та різною фракцією:

Таблиця 3.1 – Вибір матеріалів

Матеріал	Кут природнього укусу	Фракція, мм
Гречка	50	3,343
Горох	25	3,263
Пісок	34	0,35
ПЕВГ	26	3,195
Полістирол	29	2,605

3.4.1.1 Конічний бункер

Таблиця 3.2 – Матеріал – гречка (2 кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
17.47	17.51	17.65	17.543

Таблиця 3.3 – Матеріал –Горох (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
20.65	20.96	20.68	20.763

Таблиця 3.4 – Матеріал – Пісок (сухий) (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
6.51	6.45	6.43	6.463

Таблиця 3.5 – Матеріал – ПЕВГ (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
26.73	26.56	26.49	26.593

Таблиця 3.6 – Матеріал – Полістирол ПСМ 115 В/С (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
21.64	21.75	21.48	21.623

На насінні та муці на бункері сопстерігалось абсолютне склепіння

3.4.1.2 Асиметричний бункер

Таблиця 3.7 – Матеріал – гречка (2 кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
17.77	17.77	18.05	17.863

Таблиця 3.8 – Матеріал –Горох (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
20.50	20.81	21.29	20.86

Таблиця 3.9 – Матеріал – Пісок (сухий) (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
6.73	6.49	6.64	6.62

Таблиця 3.10 – Матеріал – ПЕВГ (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
27.21	27.15	27.50	27.286

Таблиця 3.11 – Матеріал – Полістирол ПСМ 115 В/С (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
22.46	22	22.11	22.19

На насінні спостерігалось часткове склепіння, а на муці абсолютне.

3.4.1.3 Пірамідальний бункер

Таблиця 3.12 – Матеріал – гречка (2 кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
17.96	18.08	18.28	18.106

Таблиця 3.13 – Матеріал –Горох (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
21.46	21.47	21.38	21.436

Таблиця 3.14 – Матеріал – Пісок (сухий) (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
7.04	6.84	7.04	6.973

Таблиця 3.15 – Матеріал – ПЕВГ (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
27.91	27.84	27.75	27.833

Таблиця 3.16 – Матеріал – Полістирол ПСМ 115 В/С (2кг матеріалу)

t 1	t 2	t 3	t c
22.73	22.85	22.92	22.833

На насінні тамуці спостерігалось абсолютне склепіння

3.5 Результати експериментів

3.5.1 Продуктивність для конічного бункеру

Таблиця 3.17 – Результати дослідів для конічного бункеру

Матеріал	Середній час, с	Продуктивність, кг/с
Гречка	17.543	0.114
Горох	20.763	0.096
Пісок (сухий)	6.463	0.309
ПЕВГ	26.593	0.075
Полістирол ПСМ 115 В/С	21.623	0.092

3.5.2 Продуктивність для асиметричного бункеру

Таблиця 3.18 – Результати дослідів для асиметричного бункеру

Матеріал	Середній час, с	Продуктивність, кг/с
Гречка	17.863	0.111
Горох	20.86	0.095
Пісок (сухий)	6.62	0.302
ПЕВГ	27.286	0.073
Полістирол ПСМ 115 В/С	22.19	0.090

3.5.3 Продуктивність для пірамідального бункеру

Таблиця 3.19 – Результати дослідів для пірамідального бункеру

Матеріал	Середній час, с	Продуктивність, кг/с
Гречка	18.106	0.110
Горох	21.436	0.093
Пісок (сухий)	6.973	0.286
ПЕВГ	27.833	0.071
Полістирол ПСМ 115 В/С	22.833	0.087

3.5.4 Графіки залежності продуктивності від бункерів

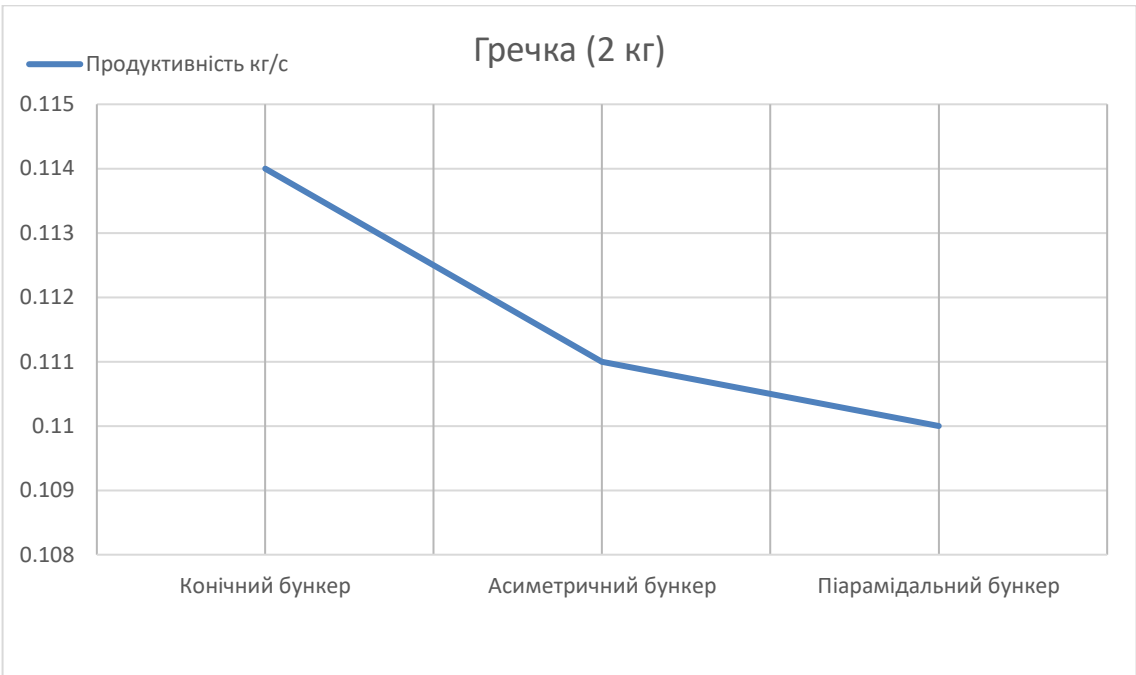


Рисунок3.3 – Графік залежності продуктивності від виду бункера (гречка)

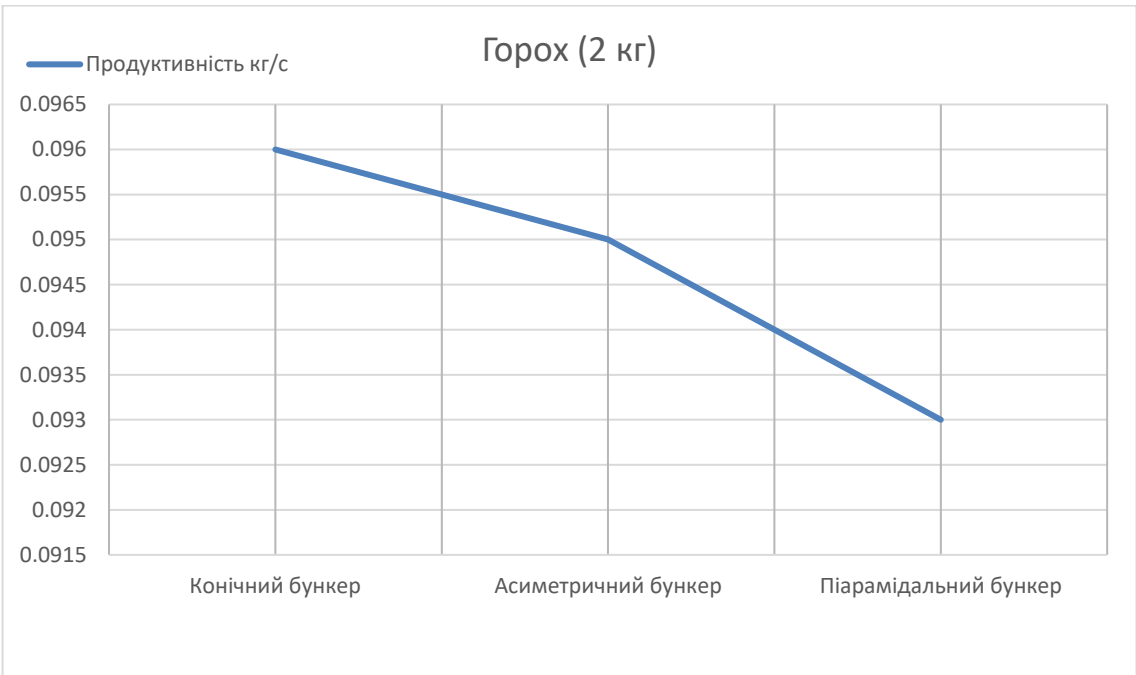


Рисунок3.4 – Графік залежності продуктивності від виду бункера (горох)

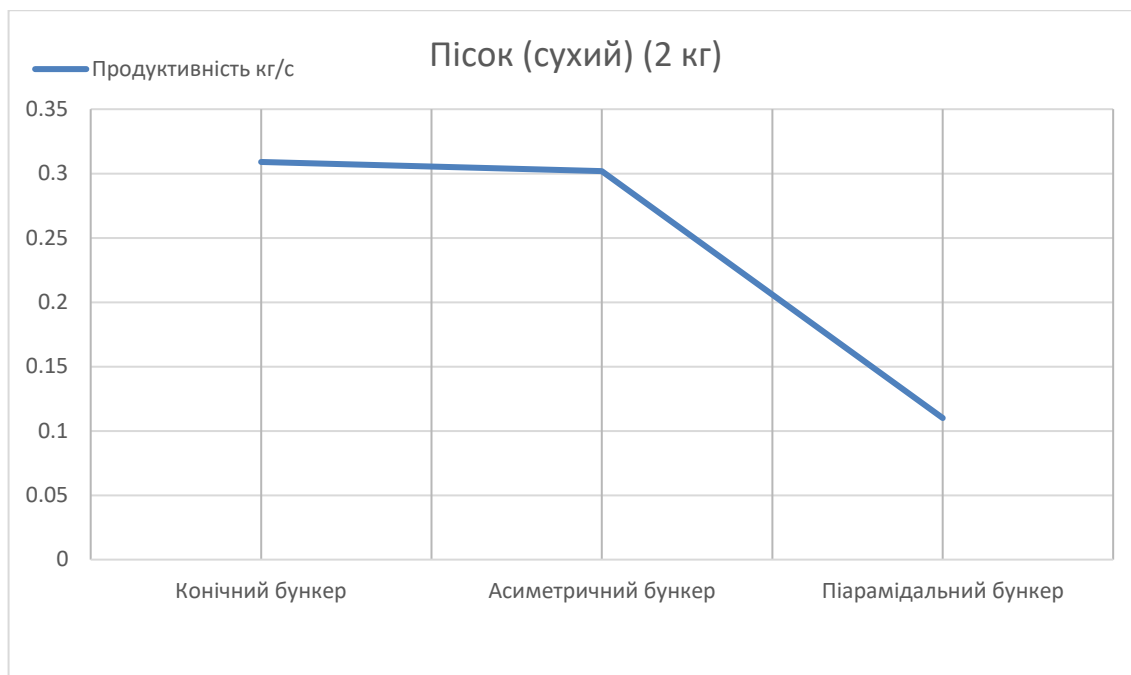


Рисунок3.5 – Графік залежності продуктивності від виду бункера (пісок)

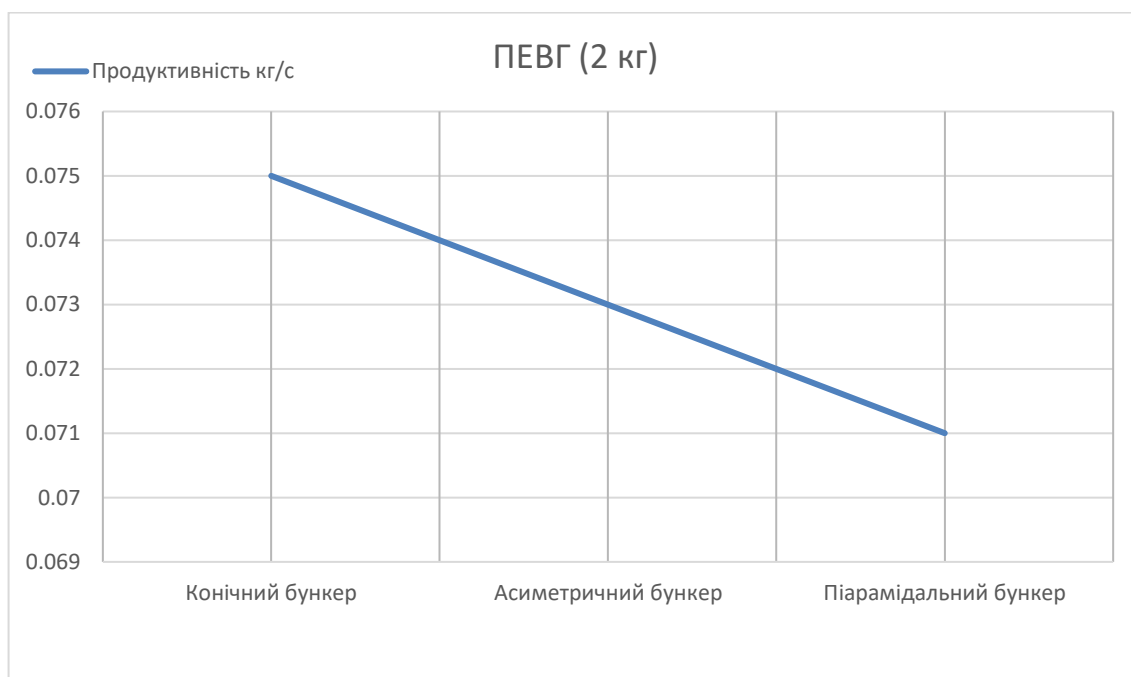


Рисунок3.6 – Графік залежності продуктивності від виду бункера (ПЕВГ)

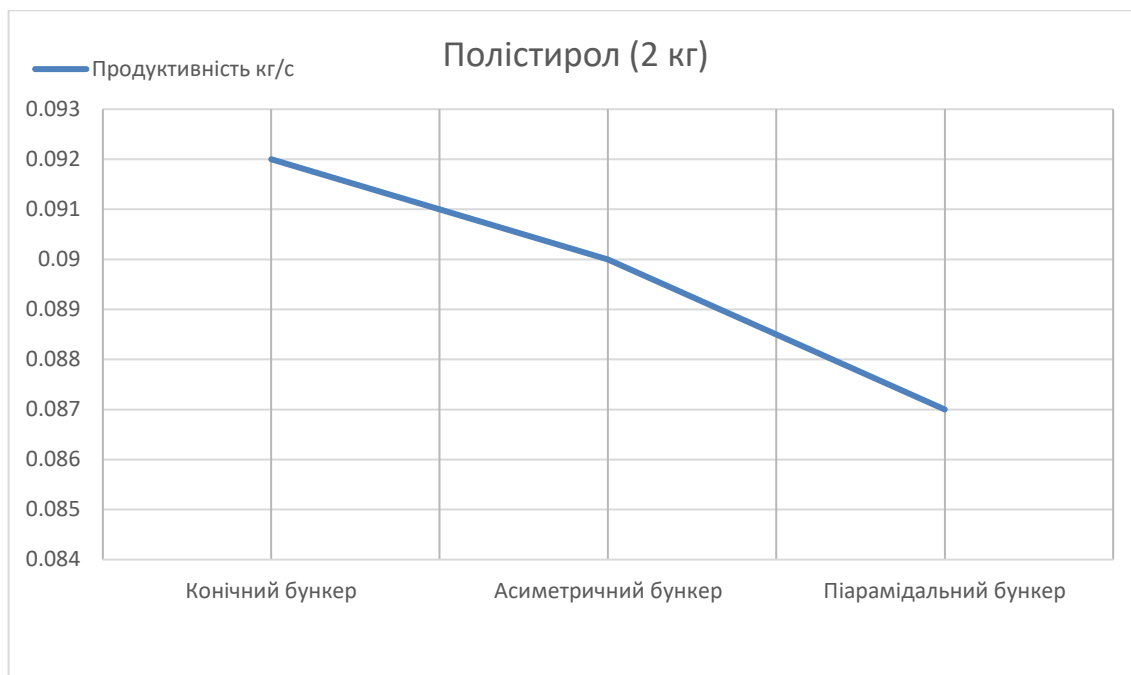


Рисунок 3.7 – Графік залежності продуктивності від виду бункера (Полістирол)

3.5.5 Комп'ютерне моделювання бункера

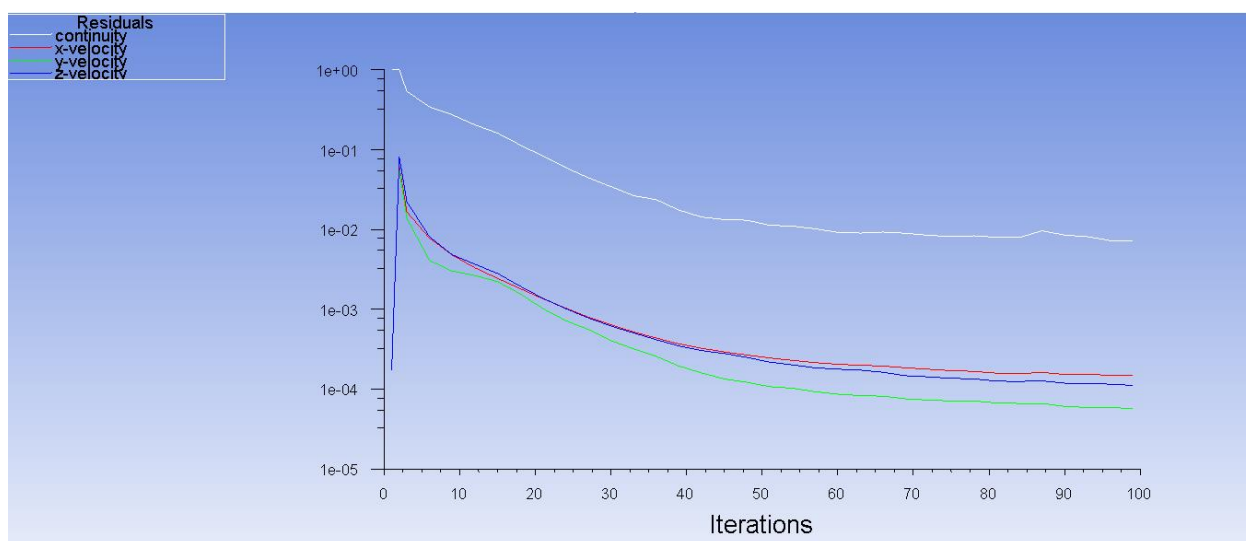


Рисунок 3.8 – Графік залежності розподілу від кількості ітерацій

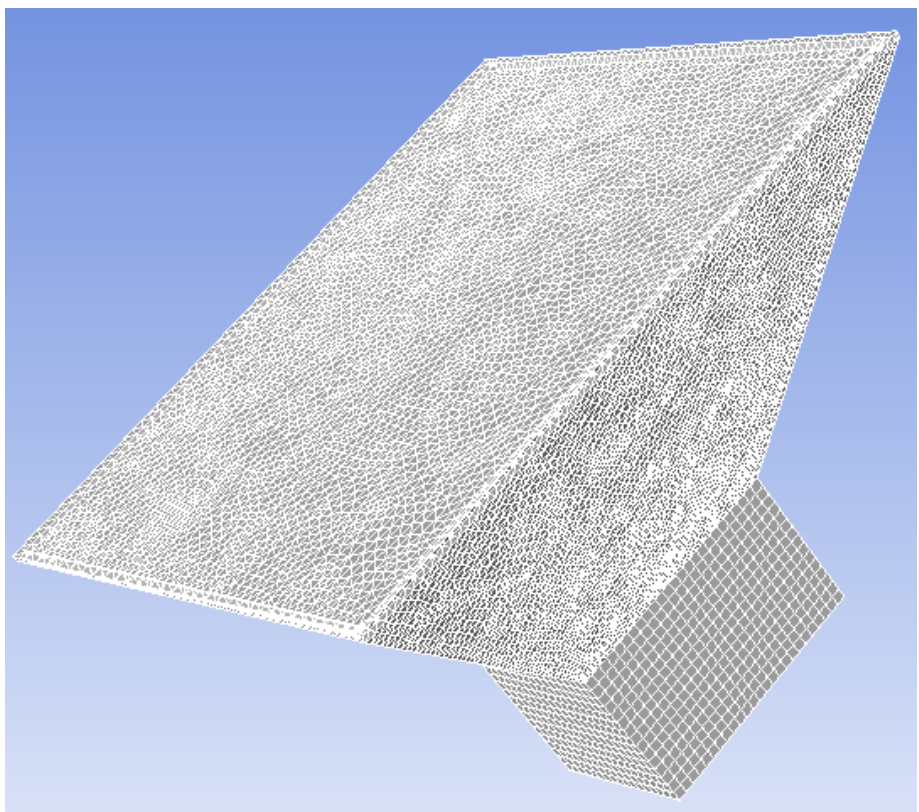


Рисунок 3.9 - Зображення сітки виробу

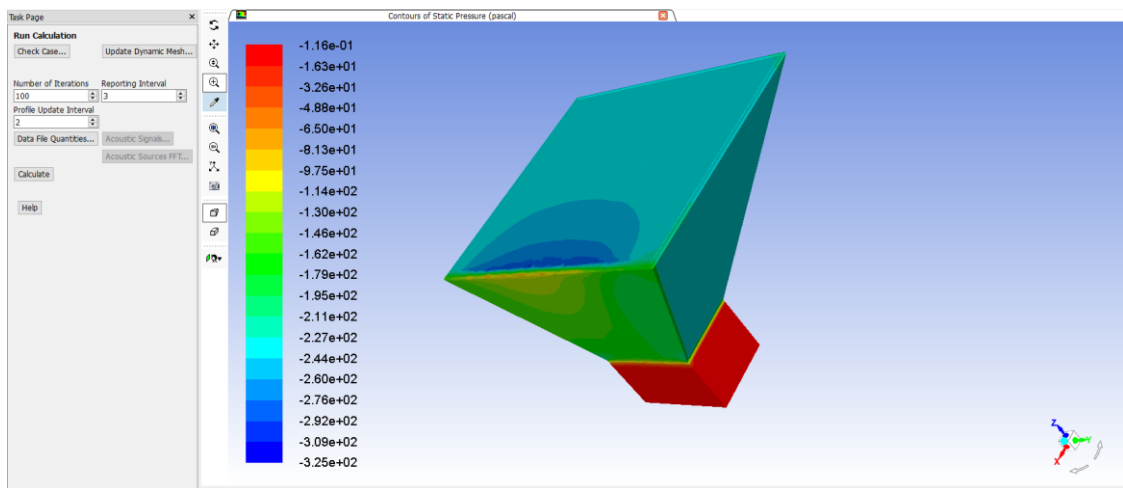


Рисунок 3.10 - Зображення статичного тиску

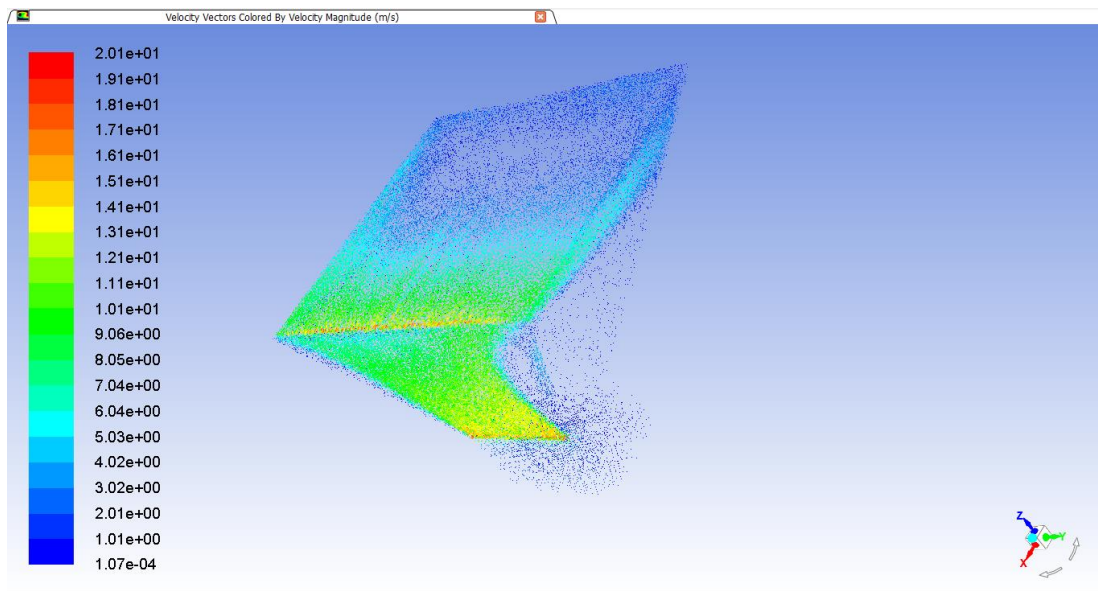


Рисунок 3.11 - Вектори швидкості, зафарбовані по величині швидкості (м/с)

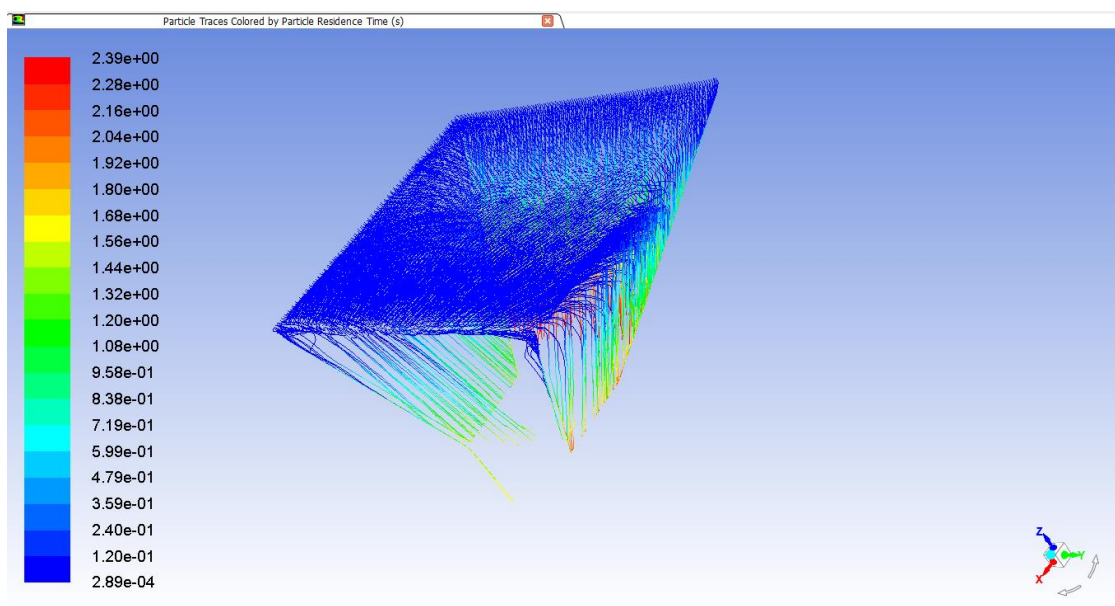


Рисунок 3.12 - Частинки слідів, забарвлених часом перебування частинок, с

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Аналіз результатів

За результатами досліджень (табл. 3.17-3.19), та графіків, бачимо, що в більшості випадків найоптимальніший варіант бункеру це конічний, але як відомо, він використовується для рідких та в'язких продуктів. Тому краще за все порівняти асиметричний і пірамідальний бункер, з чого бачимо, що на асиметричному бункері продукт дозується швидше і точніше.

						Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В процесі трудової діяльності організм людини піддається впливу різноманітних шкідливих факторів, що виникають в процесі виробництва продукції та експлуатації обладнання. Особливу небезпеку для робітників становлять виробничі приміщення. Реальні умови праці несуть в собі одразу декілька небезпечних факторів, котрим піддається організм під час роботи. Тому при розробці технологічних процесів та конструюванні обладнання на виробництві необхідно враховувати вимоги щодо охорони праці, засобів індивідуального захисту та виробничої санітарії.

Відповідно до теми магістерської дисертації «Похибки вагового і об'ємного способів дозування сипких матеріалів» розробляється розділ охорони праці. Розміри виробничого приміщення складають: довжина $L = 50$ м, ширина $B = 10$ м, висота $H = 6$ м; загальний об'єм приміщення становить $V = 3000$ м³.

При сортуванні полімерних відходів шкідливими і небезпечними виробничими факторами для оператора є:

- враження електричним струмом;
- параметри повітря робочої зони;
- виробничий шум;
- промислове освітлення;
- пожежна безпека та небезпека вибуху.

4.1 Виробничий шум

Основними джерелами шуму і вібрації на установці є: електромагнітні вібратори, рухомий диск, вали, електродвигуни.

Допустимий рівень звуку на робочому місці згідно ДСН 3.3.6.037 – 99 не повинний перевищувати 80 дБ.

Згідно санітарно-технічному паспорту установки рівень шуму в робочій зоні операторів складає 60 дБ, що не перевищує норми. На робочому місці

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно до ДСН 3.3.6.037 – 99 складає 93 дБ. На проектованій установці рівень вібрації прийнятий 20 дБ виходячи з даних діючого виробництва. Зважаючи на те, що у виробничому будинку, де знаходяться основні джерела шуму, немає постійного перебування обслуговуючого персоналу, заходу для зниження рівня звукового тиску не передбачаються.

Як індивідуальні засоби захисту від шуму відповідно до ГОСТ 12.4.029-80 використовують м'які прогумовані вкладиші, тампони з ебоніту чи гуми.

Для захисту рук від впливу локальної вібрації відповідно до ГОСТ 12.4.002-74 прийняті рукавиці чи рукавички, виготовлені з віброзахисного матеріалу.

Для захисту від вібрації, переданої людині через ноги, передбачене взуття на товстій гумовій підошві.

Для контролю рівня шуму і вібрації передбачений прилад ВШВ-003 і шумо-віброзамірний комплекс ШВК-1.

4.2 Заходи по забезпеченню повітря робочої зони

Для забезпечення умов здорової і високопродуктивної праці є необхідність забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов у робочій зоні приміщення. Знешкодження дії таких небезпечних виробничих факторів, як газів і парів, пилу, надлишкової теплоти і вологи, і створення здорового повітряного середовища є важливим народногосподарським завданням.

Виходячи з прийнятої технологічної схеми маємо приміщення без надлишкового тепловиділення, тобто $Q < 23,27 \text{ Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$ Категорія робіт оператора легка, так як показник енерговитрати складає до 273 Дж/с.

Параметри повітря робочої зони представлені в таблиці 5.1, в якій вказані також оптимальні умови.

Параметри повітря робочої зони відповідають ГОСТ 12.1.005-88 і ДСН 3.3.6.042-99. Забезпечення параметрів здійснюються в зимовий час за допомогою водяного опалення з температурою теплоносія 70-90 °С, а в теплий час року вентиляцією.

						Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективність роботи вентиляційної системи відповідає вимогам СНіП 2.04.05-91 «Опалення, вентиляція і кондиціонування». Аеродинамічні випробування вентиляційних систем проводять не рідше одного разу на рік, а також після кожного капітального ремонту або реконструкції згідно з ГОСТ 12.3.018-79.

Таблиця 4.1 – Фактичні величини показників мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень

Сезон року	Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт	Температура повітря, °С	Температура поверхонь, °С	Відносна вологість повітря, %	Абсолютна вологість повітря (середньорічна), г/м ³	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	175 – 232	19 – 21	18 – 22	60 – 40	10	0,2
Теплий	175 – 232	20 – 22	19 – 23	60 – 40	10	0,2

ДСН 3.3.6.042-99

Під час виробничого процесу, існує ймовірність потрапляння в повітря робочої зони пилу та речовин з загально токсичним та отруйним впливом. З метою нормалізації повітря в приміщенні передбачені технологічні заходи:

- герметизація технологічного устаткування;
- передбачена місцева вентиляція.

У зоні роботи операторів передбачається кондиціонування повітря за допомогою спліт-систем.

В усіх виробничих приміщеннях запроектоване парове опалення.

Робітники й інженерно-технічний персонал, безпосередньо зв'язані з обслуговуванням технологічного устаткування, забезпечуються

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

індивідуальними фільтруючими протигазами марки “А” і “БКФ”. В аварійних випадках застосовуються киснево-ізолюючі прилади типу “СТОСІВ-8”. Контроль параметрів погодних умов, а також змісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони ведеться працівниками аналітичної лабораторії.

Для видалення шкідливих речовин, які піднімаються вгору при тепло - та волого виділеннях встановлюється вентиляція, розрахунок якої приведено нижче.

Розрахунок витяжного зонта.

Габаритні розміри прямокутного зонта в плані (рис. 5.1)

$$A = a + 0,8h = 0,6 + 0,8 \cdot 0,8 = 1,24 \text{ м}; (4.1)$$

$$B = b + 0,8h = 1,0 + 0,8 \cdot 0,8 = 1,64 \text{ м}; (4.2)$$

де а, в – сторони криної поверхні, а = 0,6 м, в = 1,0 м

h – відстань від низу зонта до перекриття поверхні h = 0,8 м Висоту підвішування зонта приймаємо Н = 1,8 м.

Кут розкриття зонта приймаємо $\varphi = 60^\circ$.

$$h_3 = \frac{A-D}{2tg\frac{\varphi}{2}} + h_6 = \frac{1,24-0,26}{2tg\frac{60}{2}} + 0,2 = 1,05 \text{ м}; (4.3)$$

де D = 0,26 м – діаметр витяжної труби;

h₆ – висота борту, h₆ = 0,1...0,3 м. Приймаємо h₆ = 0,2 м.

						Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

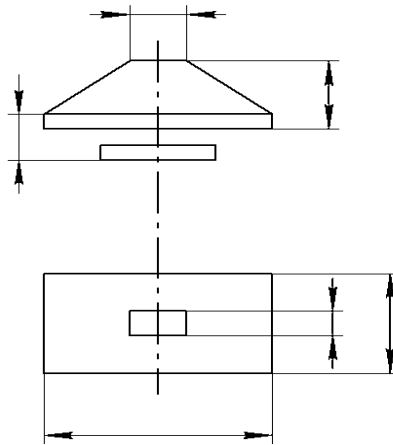


Рисунок 4.1 – Схема до розрахунку габаритів витяжного зонта. Повна висота зонта

Об'єм повітря, яке витягується витяжною трубою від зонтів:

$$\alpha = 3600 \cdot F \cdot v_0 = 3600 \cdot 2,304 \cdot 0,6 = 4977 \text{ м}^3/\text{год}, (4.4)$$

де F – площа розрахункового перерізу,

$$F = (A + B) \cdot h = (1,24 + 1,64) \cdot 0,8 = 2,304 \text{ м}^2, (4.5)$$

v_0 - середня швидкість в розрахунковому перерізі зонта, $v_0 = 0,6$ м/с.

Приблизна швидкість руху повітря у будь-якій точці з координатами "X" та "Y":

$$v_x = v_0 \cdot \frac{h_3^2}{\left[h_3 + \left(\frac{A}{B} - 0,5 \cdot B \right) \cdot \psi \right]^2} = \frac{1,05^2}{\left[1,05 + \left(\frac{1,64}{1,24} - 0,5 \cdot 1,64 \right) \cdot 0,2 \right]^2} = 0,5 \text{ м/с} (4.6)$$

						Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок повітропроводу.

Знаючи витрати повітря $L = 4977$ м/год та швидкість $= 0,5$ м/с, визначаємо по монограмі наступні параметри:

- діаметр повітропроводу $d = 300$ мм;
- питомі витрати тиску на тертя $R_{тр} = 0,36$ кг/м²;
- динамічний тиск $H_d = 26,6$ Н/м².

Втрати тиску на тертя:

$$H_{тр} = R_{тр} \cdot l = 0,36 \cdot 9 = 3,24 \text{ кг/м}^2 = 32,4 \text{ Н/м}^2, (4.7)$$

де l – довжина ділянок повітропроводів, $l = 9$ м.

Коефіцієнт місцевого опору (КМО) на ділянці:

1. Циліндричної насадки, діаметром 140 мм, $\zeta_l = 2$.
2. Циліндричного конфузора між насадкою та повітропроводом. Кут звуження $\alpha = 15$. КМО визначаємо за формулою:

$$\zeta_2 = 0,5 \sin \frac{\alpha}{2} \left(1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right) = 0,5 \cdot \sin \frac{15}{2} \left(1 - \left(\frac{140}{300} \right)^2 \right) = 0,049, (4.8)$$

де d_1 – діаметр насадки, $d_1 = 140$ мм;

d_2 – діаметр повітропроводу, $d_2 = 300$ мм.

КМО ζ_2 віднесений до швидкості повітря у повітропроводі визначаємо за формулою:

$$\xi_2' = \xi_2 \cdot \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 = 0,049 \cdot \left(\frac{300}{140} \right)^2 = 0,22. (4.9)$$

КМО дросель-клапана $\zeta_3 = 0,22$.

КМО трьох відводів повітропроводів:

$$\xi_4 = \Sigma C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 = 3 \cdot 0,175 \cdot 1 \cdot 1 = 0,525, (4.10)$$

						Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_1 – коефіцієнт, який враховує радіус повороту, $C_1 = 0,175$;
 C_2 – коефіцієнт, який враховує кут повороту, $C_2 = 1$;
 C_3 – коефіцієнт, який враховує форму перерізу повітропроводу.
 Сумарний КМО:

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 = 2 + 0,049 + 0,22 + 0,525 = 3,014. (4.11)$$

Втрати тиску на місцевий опір:

$$\Sigma = \Sigma \xi \cdot H_d = 3,014 \cdot 26,6 = 80,17 \text{ Н/м}^2. (4.12)$$

Сумарні втрати тиску:

$$H = H_{тр} + \Sigma = 32,4 + 80,17 = 112,6 \text{ Н/м}^2. (4.13)$$

Вибір вентилятора.

Для вибору вентилятора необхідно знати втрати тиску в системі
 ($H = 100 \text{ Н/м}^2$) та продуктивність.

Продуктивність приймається з урахуванням втрат або підсмоктування
 повітря у повітропроводі:

$$P_v = K \cdot \alpha = 1,15 \cdot 4977 = 5724 \text{ м}^3/\text{год}. (4.14)$$

де K – коефіцієнт, який враховує втрати або підсос повітря, $K = 1,15$.

Вибираємо вентилятор МЦ – 5 з частотою обертання $\Pi = 1440 \text{ об/хв}$ і
 $\text{ККД} = 0,4$.

						Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір електродвигуна.

Необхідна потужність на валу електродвигуна:

$$N = \frac{P_B \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\Pi}} = 5,48 \text{ кВт.} \quad (4.15)$$

де η_B – ККД вентилятора, $\eta_B = 0,4$; η_{Π} – ККД передачі.

Встановлена потужність електродвигуна:

$$N_{\text{вст}} = K \cdot N = 1,27 \cdot 5,48 = 7 \text{ кВт} \quad (4.16)$$

де K – коефіцієнт запасу, $K = 1,27$

Вибираємо електродвигун типу 4А1006 УЗ з частотою обертання $\Pi = 950$ об/хв та ККД = 0,73.

4.3 Освітлення

Добре освітлення робочих місць одна з важливих вимог охорони праці. Для створення світлового комфорту на підприємствах використовують: природне освітлення, штучне освітлення, суміщене освітлення.

Приміщення має штучне освітлення. Так як допустима норма освітлення $E_n = 150 \text{ лк}$, на висоті 5,8м підвішені 18 освітлювачів з люмінесцентними лампами низького тиску типу ДД-80-4, які дають освітленість $E_{\phi} = 200 \text{ лк}$. Оскільки $E_{\phi} > E_n$ ($200 \text{ лк} > 150 \text{ лк}$), то освітленість приміщень відповідає встановленим нормам ДБНВ 25.28-2006.

Керування робочим і аварійним висвітленням виробляється автоматичними вимикачами з щитків висвітлення, вимикачами, встановленими в приміщеннях, і централізовано з операторних.

У всіх виробничих приміщеннях передбачено робоче й аварійне освітлення.

						Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.4 Небезпека ураження електричним струмом

Апарати живляться від трьохфазної мережі з глухозаземленою нейтраллю. Працює від напруги $U = 220/380\text{В}$, частота 50Гц. У такому разі існують наступні небезпеки:

- дотик безпосередній до струмопровідних частин електроустановок, які діють під напругою. Це може статися через несправність огорожувальних пристроїв електроустановок, помилкові дії персоналу, коли роботи виконуються поблизу чи безпосередньо на струмопровідних елементах, що знаходяться під напругою, а також з появою напруги (в результаті помилкової подачі) на раніше вимкнених електроустановках і ділянках мережі;
- дотик до металевих конструктивних частин електроустановок, які не повинні знаходитися під напругою, але на корпусах, кожухах і огорожувальних пристроях може з'явитися напруга в результаті електричного пробоя чи природного старіння ізоляції електроустановок, а також при замиканні оголених проводів через обрив і падіння на конструктивні частини електроустановок і при відсутності захисного заземлення, ці причини складають близько 22 % усіх травм;
- дотик інструментом і предметами, що мають малий опір, до ізоляції, до струмопровідних частин, а також до неметалевих частин електроустановок, які виявилися під напругою через заводські дефекти в конструкції, під час монтажу і виготовлення. На ці причини припадає 14 % електротравм;
- дотик до стін, підлог, будівельних конструкцій, які виявилися під кроковою напругою. Крокова напруга виникає при розтіканні електричного струму від трубопроводів, будівельних конструкцій, рейкових шляхів, на які перейшов електричний струм в результаті падіння проводів чи погіршення ізоляції. Такі причини складають 2-3 %;

						Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5 Основні методи захисту від ураження електричним струмом

1. Забезпечення неприступності струмоведучих частин, що перебувають під напругою для випадкового дотику. Електромагнітні блокатори безпеки вимикачів, роз'єднувачів, заземлюючих ножів використовуються на відкритих і закритих розподільчих пристроях з метою забезпечення необхідної послідовності вмикання і вимикання обладнання. Вони виконуються, переважно, у вигляді стрижньових електромагнітів. Стрижень електромагніту при знеструмленні його обмотки під дією пружини заходить в гніздо корпусу органу управління електроустановки, що не дозволяє маніпулювання цим органом. При подачі напруги на обмотку електромагніту осердя останнього втягується в котушку електромагніту, що забезпечує розблокування органу управління електроустановкою і можливість необхідних маніпулювань цим органом;
2. Орієнтування в електроустановках. До засобів орієнтації в електроустановках відносяться: маркування частин електрообладнання, проводів, бирки на проводах, забарвлення неізолюваних струмопровідних частин, ізоляції, внутрішніх поверхонь електричних шаф і щитів керування, попереджувальні сигнали, написи, таблички, комутаційні схеми, знаки високої електричної напруги, знаки попереджувальні тощо. Попереджувальні сигнали використовують з метою забезпечення надійної інформації про перебування електрообладнання під напругою, про стан ізоляції та пристроїв захисту, про небезпечні відхилення режимів роботи від номінальних тощо. Світловою сигналізацією обладнуються в електроустановках напругою понад 1000 В комірки роз'єднувачів, масляних вимикачів, трансформаторів. У ввідних шафах комплектних трансформаторних підстанцій незалежно від величини напруги передбачається попереджувальна сигналізація станів «Включено» і «Виключено»;

						Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Застосування малої напруги. До малої напруги відносяться напруги 42 В і менше змінного струму частотою 50 Гц і 110 В і менше постійного струму. Чинні нормативні документи виділяють два діапазони малих напруги змінного струму: 12 В і 42 В. Напруга до 42 В змінного і до 110 В постійного струму застосовується в приміщеннях з підвищеною небезпекою електротравм, особливо небезпечних і поза приміщеннями для живлення ручного електрифікованого інструменту, ручних переносних ламп, світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання, в яких конструктивно не виключена можливість контакту сторонніх осіб із струмопровідними частинами, світильників загального освітлення з лампами розжарювання при висоті підвісу світильників меншій 2,5 м. Напруга до 12 В змінного струму повинна застосовуватися для живлення від мережі переносних світильників в особливо небезпечних умовах щодо електротравм: металеві, бетонні, залізобетонні та інші ємкості, кабельні та інші енергетичні підземні комунікації, оглядові ями, вентиляційні камери, тепlopункти тощо;

4. Ізоляція струмопровідних частин електроустановок, а в особливих випадках подвійна чи посилена. Ізоляція забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок, зменшує струм через людину при доторканні до неізольованих струмопровідних частин в електроустановках, що живляться від ізольованої від землі мережі.

ГОСТ 12.1.009-76 виділяє ізоляцію:

- робочу – забезпечує нормальну роботу електроустановок і захист від ураження електричним струмом;
- додаткову – забезпечує захист від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;
- подвійну – складається з робочої і додаткової;
- підсилену – поліпшена робоча ізоляція, яка забезпечує такий рівень захисту, як і подвійна.

						Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При розробці електроустановок опір ізоляції приймається в межах 1 кОм/В, якщо технічними умовами не передбачені більш жорсткі вимоги відповідно до чинних актів. З метою забезпечення працездатності електроустановок і безпечної їх експлуатації проводиться контроль стану ізоляції, який характеризується електричною міцністю ізоляції, її електричним опором і діелектричними втратами. В установках напругою більше 1000 В проводять усі види випробувань ізоляції, а при напрузі до 1000 В – тільки електричний опір і електричну міцність. Виділяють приймально-здавальні випробування, післяремонтні (реконструкція і капітальний ремонт) і міжремонтні в терміни, встановлені чинними нормативами залежно від типу електроустановки і умов її експлуатації. Так, опір ізоляції переносних світильників, що живляться від електромережі і електрифікованого ручного інструменту контролюється кожні 6 місяців, зварювального обладнання – кожні 12 місяців. При цьому опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм, а для електрифікованого інструменту 1 МОм.

У випадку ушкодження чи пробою ізоляції струмопровідних частин застосовують використовуються занулення установки.

Сила струму короткого замикання:

$$I_{к.з.} = \frac{I_{\phi}}{r_0 + r_n} = \frac{220}{0,2 + 0,4} = 337 \text{ А}, (4.17)$$

який перевищує більше, ніж $3I_n$, що дозволяє спрацювати автоматичному вимикачеві за ГОСТ 12.1.030-82.

						Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.6 Надзвичайні ситуації (пожежна безпека)

Приміщення, де розташована лінія вважаються пожежонебезпечними й ставляться до – категорії «В». Виробництво характеризується наявністю твердих горючих та важко горючих речовин та матеріалів.

Пожежа – неконтрольований процес горіння, що наносить матеріальну шкоду. Процес виникнення горіння підрозділяється на декілька видів:

- спалах – швидке загорання горючої суміші, що не супроводжується утворенням стиснених газів;
-
- загорання – виникнення горіння під дією джерела загорання;
- займання - горіння, що супроводжується виникненням полум'я;
- самозаймання – виникнення горіння при відсутності джерела займання.

Вибух – надзвичайно швидке хімічне перетворення з виділенням великої кількості енергії, що викликає нагрівання продуктів горіння до високих температур та різке підвищення тиску.

Причиною пожежі на установці може бути:

1. Несправність електроустаткування.
2. Струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення.
3. Загорання ізоляції електропроводки.
4. Струми короткого замикання й перевантаження кабелів електроживлення.
5. Відкритий вогонь у неналежному місці.
6. Халатне і необережне поводження з вогнем – куріння, залишені без нагляду нагрівальні прилади, розігрів деталей та сушка (в тому числі приміщень) відкритим вогнем.

Для гасіння невеликих ділянок загорання при виключеному та включеному (до 1000В) електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (6 шт.) та установки пожежогасіння порошкові закачані типу «САМ9» (10 шт.).

						Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення пожежної безпеки передбачається евакуація людей через виходи цеху (рис. 5.2).

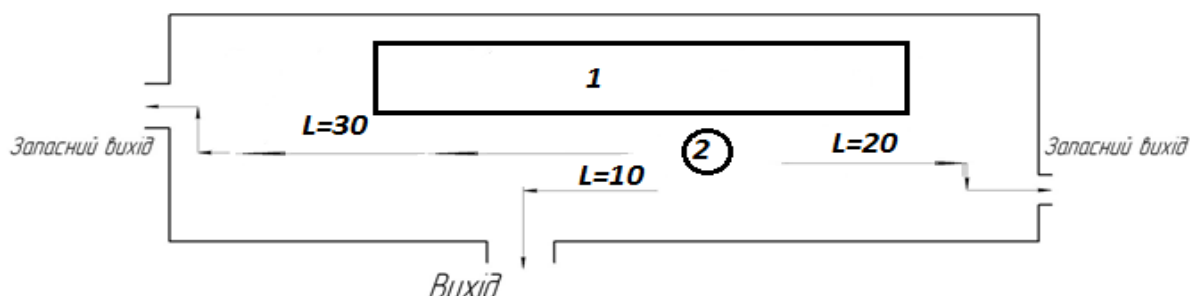


Рисунок 4.2 – План евакуації при виникненні надзвичайної ситуації.

1– апарат класифікації; 2 –оператор.

Евакуаційні виходи розташовуються розосереджено. Ширина шляхів евакуації становить 3,5 м, ширина дверей 1,6 м. будинок цеху повинна бути обладнана пожежними сходами; за СНіП 2.09.02.85.

Видалення газів і диму з палаючих приміщень виробляється через віконні прорізи, а також димові люки.

В приміщенні, де розташовується установка, на відстані 30 метрів одне від одного повинні бути встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів не далі, ніж за 5 метрів від стін, вогнегасниками, стендами із засобами індивідуального пожежогасіння: багри, цебра, лопати, ломы й пісок.

Відстань до пожежного виходу повинна бути не більше 40 метрів. Для оповіщення пожежної команди застосовується прямий телефонний зв'язок. Протипожежний водопровід розраховують на подачу необхідної для гасіння кількості води під відповідним напором впродовж не менше 3 годин.

Час евакуації людей має складати 1,25 хвилини для приміщень класу В при загальному об'ємі приміщення 4 тис. м³ за СНіП 2.01.02-85.

До основних заходів пожежної безпеки відносять:

1. Організаційні заходи: навчання працівників правилам пожежної безпеки, організація пожежної охорони, проведення бесід, лекцій, видання необхідних інструкцій та плакатів і т.п.

						Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Технічні заходи: дотримання протипожежних правил та норм при налаштуванні систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, захисту від блискавок при спорудженні виробничого приміщення, монтажі обладнання та ін.

3. Експлуатаційні заходи: правильна експлуатація систем опалення, вентиляції, кондиціонування повітря, машин, обладнання та установок, підтримання порядку у приміщеннях та на території підприємства і т.п.

4. Режимні заходи: заборона чи обмеження використання відкритого вогню у пожежонебезпечних місцях, куріння в не відведених для цього місцях, обов'язкове дотримання норм і правил при роботі з вогне- та вибухонебезпечними речовинами.

Можливе виникнення статичної електризації під час технологічних процесів, що супроводжуються тертям рухомих елементів установок. Тому при малій вологості повітря можливе виникнення швидкого розряду між наелектризованими частинками.

Загальні вимоги до іскро безпеки від розрядів статичної напруги для забезпечення пожежної та вибух безпеки встановлені в ГОСТ 12.1.018-86, а способи захисту приведені в ГОСТ 12.4.124-83. Захист від виникнення електростатичних зарядів забезпечується:

- заземленням установок;
- збільшенням електропровідності поверхонь тіл, що електризуються шляхом підвищення вологості повітря;
- введенням в склад резино-технічних виробів (наприклад, стрічки транспортера) антистатичних присадок;
- іонізацією повітря.

Блискавкою називають розряд між електрично зарядженою хмарою і землею або між різно іменно зарядженими областями двох хмар. Для прийомів електричних розрядів та відводу стуму блискавки в землю використовують блискавковідводи. Вони складаються з несучої частини (опори),

						Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блискавко-приймача, що безпосередньо приймає удар блискавки, струмовідводу (спуска). Блискавкоприймачі поділяють на стержньові, тросові та сітчасті. Захисною зоною блискавковідводу називають частину простору, що примикає до нього і забезпечує захист споруди від прямих ударів блискавки із достатнім ступенем надійності (99%). Блискавкоприймачі мають бути виготовлені зі сталі: стержньові – з перерізом не меншим за 100 мм² та довжиною не меншою за 200 мм, а тросові – з перерізом не меншим за 35 мм².

						Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Розробити ідею стартап проекту

Створення заводу по виробництву бункерів з різник кутом природнього укусу.

5.1.1 Сформулювати ідею широко

Планується відкрити завод, який буде виготовляти бункери з різник кутом природнього укусу

Проблема всіх сучасних виробництв – неможливість використовувати один бункер для різних типів продукту. Як відомо, у кожного продукту є свій кут, при якому він найкраще і найшвидше дозується.

Моя ідея заключається у тому, щоб виготовляти такі бункери для виробничих підприємств, які будуть точно та швидко дозувати проудкт.

5.1.2 Цільова аудиторія, клієнт

В основному клієнтами являються підприємства, які займаються виготовленням сипучих або рідких продуктів.

5.1.3 Конкуренти

Підприємства та компанії по створенню бункерів, такі як Югенерггоресурс, але вони займаються стандартними бункерами

5.1.4 Основна конкурентна перевага

- Не потрібно додатково купувати бункери для різних продуктів
- Можливість виготовити бункер під свої потреби (продукти)
- Зручна доставка завдяки поштовим службам або само вивіз (в залежності від розмірів бункера).

5.1.5 Скільки потрібно грошей?

1. Оренда приміщення 200 тис. грн.
2. Обладнання для різки та зварювання металу, які можна підключити до комп'ютера – 300 тис. грн
3. Обладнання для шліфування металу – близько 150 тис. грн
4. Персональний комп'ютер – близько 22 тис. грн.

						Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Пристрої та прилади з'єдань та підключень – 15 тис. грн.
6. Заробітна плата на найближчі 5 місяців – 60 тис. грн.
7. Непередбачені витрати – 50 тис. грн.
8. Реклама – 20 тис. грн.

Також бажано врахувати організаційні витрати, витрати на документацію та випробування – приблизно 100 тис. грн..

Тоді, сумарна вартість запуску проекту складе 917 тис. грн.

5.1.6 Де шукати гроші?

Для підвищення вірогідності запуску проекту (отримання грошей на нього) необхідно мати декілька варіантів отримання грошей, що в подальшому можна взаємо замінювати або комбінувати. Мій проект розглядає наступні шляхи отримання фінансування:

1. Кредитування. Сьогодні отримати кредит на стартап досить таки складно навіть при наявності майна для застави, поручителя і грамотно прорахованого бізнес-плану, адже банкіри найчастіше віддають перевагу співробітництву з працюючим бізнесом. Правда, шанс є, але треба подавати кредитні заявки відразу в кілька банків.

2. Бізнес-ангели. Це приватні інвестори, які вкладають свої власні кошти в основному в інноваційні стартапи. Крім безпосередньо грошей, вони також зможуть інвестувати в проекти свої зв'язки, досвід, технології в обмін на частку в бізнес-проект.

3. Краудфандінг («crowd funding», народне фінансування). Являє собою механізм фінансування стартапів «широкими масами». Збір коштів на оригінальну бізнес-ідею можна проводити на різних засадах: наприклад, пожертвування (без фінансової вигоди для спонсорів) або так званий «краудінвестінг» (ті інвестори, хто вклав гроші, отримують фінансову винагороду). Існують спеціальні web-спільноти, що забезпечують функціонування краудфандінга.

						Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Аудит динаміки та основних тенденцій ринку

5.2.1 Побудувати динаміку ринку за останні 5-8 років.

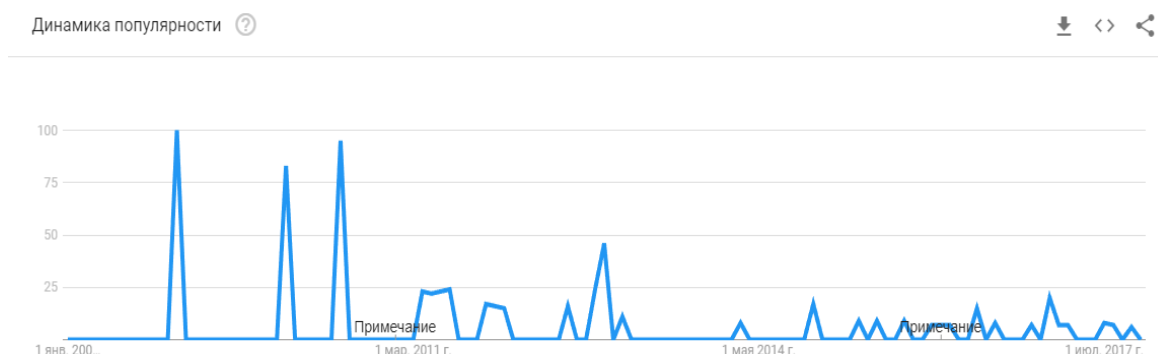


Рисунок 5.1 – Динаміка популярності бункерів за 2008-2017 роки

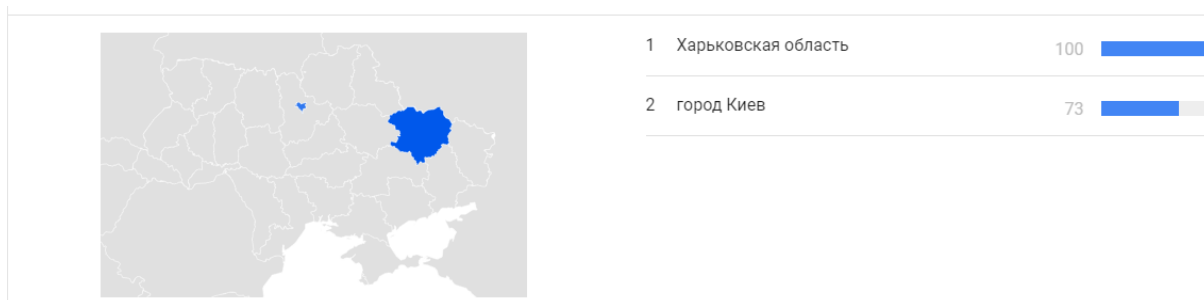


Рисунок 5.2 – Використання бункерів за областями

5.2.2 На якому етапі життєвого циклу знаходиться Ваш ринок (виведення, зростання, насичення і стабільність, криза, падіння)?

Життєвий цикл - це концепція, яка описує збут товару, прибуток, поведінка споживачів з моменту виведення товару на ринок до його відходу з ринку.

На даному етапі життєвого циклу мій ринок знаходиться на етапі стабільності.

5.2.3 Які основні майбутні тенденції можна спрогнозувати на цьому ринку (падіння, стабільність, зростання, турбулентність, ін.), виходячи з його сьогодишньої динаміки? Чим це можна пояснити?

На сьогоднішній день можна спрогнозувати стабільність ринку найближчі декілька років. Це пов'язано з тим, що виробництво бункерів залежить від конкретних потреб замовника.

5.2.4 Які з такої динаміки ринку можна зробити висновки-прогнози для Вашого стартап-підприємства, що виводить на цей ринок інновацію?

Враховуючи вище написані факти і доводи, можна сказати, що мій стартап-проект буде актуальним сьогодні, адже це зовсім нова концепція бункерів і в майбутньому це призведе до зростання попиту на такі бункери [22].

5.2.5 Хто є основними учасниками ринку? Розмір підприємства, основні маркетингові інструменти:

1. «Эталон»

Дана фірма виготовляє бункери, силоси та термоплити під замовлення.

Є сайт. Просування – інтернет.

2. «ПП Душка»

Компанія «ЧП Душка» займається виробництвом бункерів для сипучих продуктів

Сайту нема. Просування – інтернет, через сайт «prom.ua».

3. «ППКП Огрант»

Є сайт. Виробляють бункери, електродвигуни, редуктори і нестандартне обладнання.

Просування – інтернет, контракти з торговими мережами на продаж продукції.

						Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. «ПП Кармель»

Є сайт. Займаються виготовленням та ремонтом бункерів, бетонозмішувачів, та будівельним обладнанням.

Просування – інтернет

5. «ПП Будмаш»

Є сайт. Займаються виготовленням бункерів, бетонозмішувачів, конвейерами та міні-заводами для сухих сумішей.

Просування – сайт, інтернет.

6. «МПсОО Квант»

Є сайт. Надають послуги різки металу, монтажу, ремонту, реконструкції вантажопідйомних кранів та виготовленням бункерів, шнеків, транспортерів і іншого спеціалізованого обладнання.

Просування – інтернет.

5.2.6 Які кольорові гами використовують підприємства на своїх Інтернет-ресурсах? Які основні творчі ідеї ними задіяні (консервативний образ або жартівливий стиль, елітність або спрощення, ін.)?

Більшість сайтів мають опір на біло-синій колір. Але є, наприклад, у «Еталон» синьо – жовта кольорова гамма.

5.2.7 Який можна зробити висновок про основні конкурентні переваги кожної компанії, виходячи їх повідомлень на їх сайтах (стратегії позиціонування)?

Найбільш конкурентна компанія – «Еталон», адже в них доволі непоганий сайт, який виділяється. У багатьох компаній стандартний біло-синій сайт.

						Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.8 Ширина і глибина представленого на сайті асортименту товарів і послуг.

«*Эталон*» - Описано продукцію, є ціна, можливості варіації з зображенням.

«*ПП Душка*» - сайт відсутній. Інформація тільки на сайті prom.ua.

«*ПП Кармель*» - Описано продукцію, ціни нема, є можливість замовити продукт під себе.

«*ПП Будмаш*» - Описано продукцію, ціни нема, великий асортимент.

«*ППКП Огрант*» - Описано продукцію, ціни нема, великий асортимент, є відео продукції. Також є каталог продукції

«*МПсОО Квант*» - продукцію не дуже описано, ціни нема. Сайт знаходиться на домені prom.ua, через що виглядає дуже просто

Всі сайти не мають перекладу на інші мови. В більшості випадків, замовляти потрібно через телефон (немає можливості замовити на сайті). Тільки на сайті ЧП «Кармель» можна замовити через сайт.

Як показала практика сайт – не основний засіб розкрутки і продажу побідної продукції, але у будь-якому випадку він має місце. На нашому сайті має бути можливість самим задати розміри та параметри бункерів, обрахувати вартість. Зробити Посилання на торгові точки, де можна купити, а також можливість замовлення поштою або самовивозом. Обов'язковий зворотній зв'язок.

5.3 Аналіз маркетингового середовища підприємства «UANopper»

Визначити товар, якому присвячено аналіз маркетингового середовища:

Бункери з різним кутом укусу

						Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.1 Аналіз внутрішнього середовища

Історія розвитку підприємства

Підприємство дуже молоде. Почнеться воно із студентського об'єднання, яке переросте у фірму, в яку буде вкладатися капітал від спонсорів чи бізнес ангелів. З часом велика конкурентна корпорація в Україні та за її межами.

Товарний портфель (асортимент товарів та послуг)

Бункери для сипучих, рідких та в'язких матеріалів.

Географічне розташування підприємства

Офіс та завод у Києві.

корпоративні стандарти

- Надійно
- Виготовлення під кожну потребу
- Зменшимо Ваші витрати!

ресурси і обмеження

- Трудовий капітал
 - Комп'ютери сучасні
 - Обладнання для виготовлення бункерів
 - Матеріал
1. Товари за задумом – бункери для сухих, рідких та в'язких матеріалів
 2. Товари у реальному виконанні – бункер, особливого виконання, який дозволить дозувати різні продукти на одному бункері з максимальною точністю і мінімальним часом.
 3. Товар з підкріпленням – доставка в будь-яку точку України; можливість зробити індивідуальне замовлення із своїми параметричними побажаннями..

Ринкова історія товару

Товар розвивається по мірі необхідності на ринку пакування. Кожен хто має виробництво сипких чи рідких матеріалів стикався з тим, що потрібно пакувати свою продукцію, і в основному це робиться на різних бункерах.

						Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3.2 Динаміка ринку виготовлення бункерів

На сьогоднішній день можна спрогнозувати зростання ринку найближчі декілька років. Це пов'язано з тим, що постійно виробляється багато продуктів, для яких потрібен дозуючий пристрій. Всі продукти мають різний кут природнього укусу. Враховуючи це – використання наших бункерів дуже актуальне.

5.3.3 Визначення етапу життєвого циклу товару.

Життєвий цикл - це концепція, яка описує збут товару, прибуток, поведінка споживачів з моменту виведення товару на ринок до його відходу з ринку.

На даному етапі життєвого циклу наш ринок знаходиться на етапі поступового зростання.[23]

Узагальнено розглядається динаміка розвитку галузі:

основні оператори ринку:

«Еталон», «ПП Душка», «ППКП Огрант», «ПП Кармель», «ПП Будмаш», «МПсОО Квант».

Економічні та соціальні тенденції ринку

Ринок поступово зростає у зв'язку з постійними потребами у дозуванні різних продуктів. Ринок великий, але дуже однотипний. Є в Україні та світі. Фірми, які працюють за схожим профілем – *«Еталон», «ПП Душка», «ППКП Огрант», «ПП Кармель», «ПП Будмаш», «МПсОО Квант».*

Викладена вище загальна інформація систематизується у вигляді переліку факторів внутрішнього маркетингового середовища фірми за такими групами:

Організаційно-правові:

1. Форма власності – приватні капіталістичні підприємства, засновані на власності окремого громадянина, який експлуатує найманих працівників;
2. Форма організації – ПП.

						Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Організаційна структура – Підприємство – директор (зустрічі) – інженер – робочий персонал для обслуговування обладнання – відділ транспортування – відділ реклами.

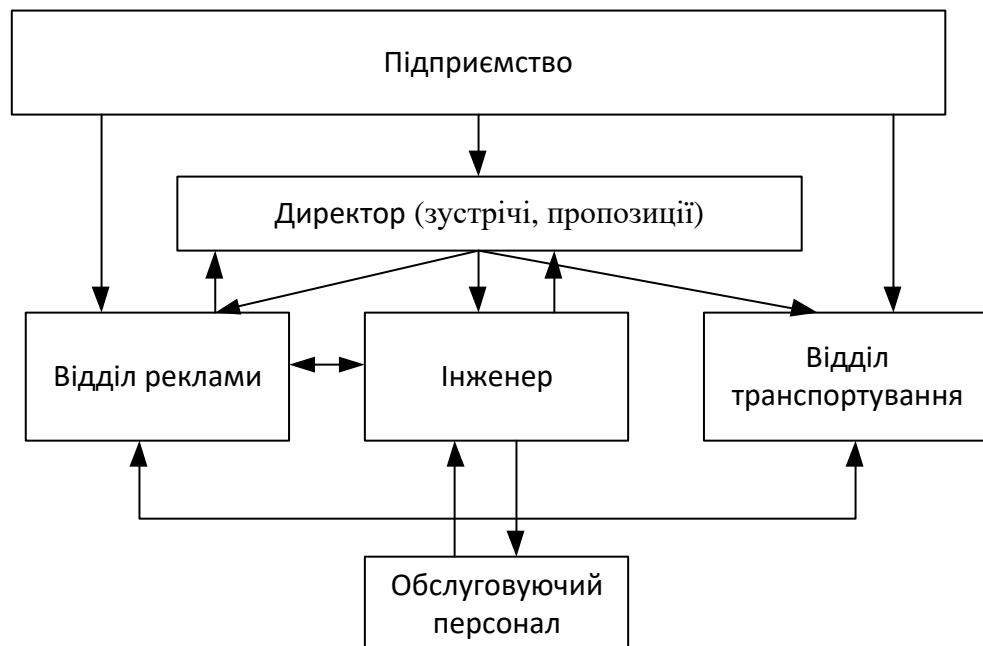


Рисунок 5.1 Структура підприємства

Система менеджмента

Ставка + система заохочуючих премій за інновацій, економію ресурсів, приваблення клієнтів.

Стиль керівництва

Жорсткість, справедливість, не шкодувати грошей на персонал.

Ресурси:

1. фінансові

Для початку надія на бізнес-ангелів та кредити. Далі, за рахунок привабливості якості, надійності та ціни - має дати великий прибуток.

2. виробничі та складські потужності

Бажано використовувати в оренду (а з часом і викупити) місце де колись був потужний завод на якому можна буде встановити обладнання. Розраховуємо, що це буде приміщення середніх розмірів.

3. технології

Пріоритетним є максимальне використання комп'ютерних технологій та поєднання пристроїв українського походження у симбіозі з імпортним

4. інформаційні

Завести сайт, повісити оголошення на стендах різних міст неподалік до підприємств, дати оголошення у мережевій дошці оголошень, проведення краш тестів продукції та висвітлення це на ютубі!!!

5. трудові

Кваліфікований персонал. Можливе поєднання з випускниками та студентами ВНЗ України.

6. інтелектуальні

Поєднання студентів – теоретиків із практичними досвідченими робочими.

7. Правові

Забезпечити трудову базу, офіційне працевлаштування, обов'язкове страхування, оплачувана відпустка.

						Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 Аналіз внутрішнього маркетингового середовища підприємства

Внутрішні фактори	Вплив фактору		Симптоми проблеми/можливості
	Можливості	Загрози	
Мала заробітна плата	Більше вкласти грошей у бізнес	Мало бажаючих працювати	Продукція випускається не якісно, невдоволення працівників
Великий об'єм роботи	Можливість більше заробити	Мало вихідних, прийдесть працювати понаднормово	Відмова виходити на роботу, вимоги збільшення виплат
Недосвідченість нових кадрів	Можливість робити стажування і платити менше ніж стандартна з/п	Не відповідність продукції заявлених параметрів вчасно	Брак продукції, збільшення часу на виробництво

5.4 АНАЛІЗУ ЗОВНІШНЬОГО МАРКЕТИНГОВОГО СЕРЕДОВИЩА

Таблиця 5.2 Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливістьі	Загрози	
Політико-правове середовище країни-партнера	Продаж товару за кордон	Відносини між країнами	Необхідність закупки компонентів для виготовлення товару з різних країн
Зовнішня політика країни	Продаж товару за кордон	Відносини між країнами	Необхідність реалізації товару в різних країнах
Зовнішня політика країни	Закупівля компонентів для виготовлення товару	Відносини між країнами	Необхідність закупки компонентів для виготовлення товару з різних країн

Таблиця 5.3 Підсумкова таблиця факторів економічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Рівень розвитку виробництва		Обладнання, не дає можливості збільшення обсягу виробництва	Підписання контрактів на вироблення електродної продукції виробниками
Конкуренти, які створюють дешевшу продукцію		Створення нової економічно вигідної продукції	Розроблення системи знижок для компаній-партнерів
Відсутність опалення через аварії на ТЕЦ		Неможливість працівникам працювати	Встановлення автономного опалення

Таблиця 5.4 Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Конкуренти, які створюють продукцію новітніми технологіями		Створення нової економічно вигідної продукції	Розробка систем контрактів з найбільшими виробниками-партнерами з вигідною взаємною рекламою та програмою лояльності за довготривалу співпрацю

Таблиця 5.5 Підсумкова таблиця факторів демографічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Відсутні			

Таблиця 5.6 Підсумкова таблиця факторів соціо-культурного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Непорозуміння між працівниками, що представляють різні культурні класи		Зниження якості роботи	Робити презентації та тренінги щодо культурної спадщини різних народів, а також віросповідань.

Таблиця 5.7 Підсумкова таблиця факторів природного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Відсутність опалення через аварії на ТЕЦ		Неможливість працівникам працювати	Встановлення автономного опалення
Погана погода		Неможливість транспортування	Окремі пункти у договорі про можливі додаткові дні поставок у зв'язку з погодними умовами

Таблиця 5.8 Підсумкова таблиця впливу споживачів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Ціна більша за середню		Люди будуть брати дешевшу продукцію	1.Розробка систем знижок 2. Проведення демонстрацій і «чорної реклами», де буде показана вища якість 3. Вірусні відео на ютубі з краш тестом

Таблиця 5.9 Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Ціна вища ніж у конкурентів		Люди не будуть купляти товар	1.Розробка систем знижок 2. Проведення демонстрацій і «чорної реклами», де буде показана вища якість 3. Вірусні відео на ютубі з краш тестом
Використання нових технологій		Продукція конкурентів буде більш якісна	Постійний обмін досвідом з науковими-дослідними інститутами; Премії за нововведення;

Таблиця 5.10 Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Постачання не в термін		Замовлення будуть виготовлені не вчасно	Замовлення деяких запчастин наперед; давати зазор на час виготовлення
Постачання не якісної продукції		Якість систем керування не відповідатиме завданій	Встановлення штрафів постачальникам за брак продукції

Таблиця 5.11 Підсумкова таблиця впливу контактних аудиторій

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Реклама у різних мережах	піар	Отримання конкурентами інформації про технології	Використання поверхневої реклами, прив'язка до телефонних замовлень; захист інформації.
ЗМІ	піар	Викидання негативної інформації в ЗМІ	Мати свій канал і знайомих журналістів. Можливо, відкрити своє інформантство паралельно

Таблиця 5.12 Формулювання управлінської проблеми (swot- аналіз).

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Надійна продукція - Контракти з великими виробниками продукції 	<ul style="list-style-type: none"> - Ціна вища ніж у конкурентів - Конкуренти, які створюють продукцію новітніми технологіями, бренди
<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Заощадження на зарплаті - Брати студентів на роботу 	<ul style="list-style-type: none"> - Люди не будуть купляти товар - Зниження якості роботи - Збільшення часу виготовлення продукції

Управлінська проблема:

Знайти можливість випускати продукцію такої ж якості за ринковою ціною та якісною навчити молодий персонал.

Таблиця 5.13 Слабкі та сильні сторони альтернативних шляхів.

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1. Зробити систему знижок	Зменшення прибуток	Може урівняти ціни
2. Проводити тренінги	Затрати часу та коштів	Підвищення кваліфікації персоналу

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми є – розробка системи знижок на товар та проведення тренінгів для молодого персоналу.

5.5 Аналіз конкурентів підприємства «UANorper»

Таблиця 5.14. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції: - Олігополія	Майже всі підприємства виготовляють стандартні бункери	
2. За рівнем конкурентної боротьби: - Локальний	Майже всі виробники знаходяться в Україні	
3. За галузевою ознакою -внутрішньогалузев а	Всі виробники реалізують однакові товари	Наш продукт відрізняється від стандартних бункерів своєю унікальністю
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Різновиди однієї категорії товару, які здатні задовольнити конкретне бажання покупця.	Якомога точно пропрацювати кожен запит від клієнта
5. За характером конкурентних переваг - цінова	В основному конкуренти пропонують ціну нижчу	Виділити свої переваги в порівнянні з конкурентами та робити ставку на це
6. За інтенсивністю - не марочна	Як такої виділеної марки на ринку нема	Створити власну марку та просувати її

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі

Таблиця 5.15. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входу в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки:	Основним конкурентом можна вважати компанію «Еталон»	- Є можливість виходу на ринок - Потенційних конкурентів схожих бункерів немає	Постачальник и не диктують умови.	Так, клієнти диктують умов роботи на ринку. В принципі саме від клієнтів і залежить ринок	Обмеження для роботи на ринку через товари заміників

За результатами аналізу таблиці зробимо висновок, що наша можливість роботи на ринку має місце. Основною сильною стороною проекту, є можливість виготовлення бункерів з різним кутом кожної сторони.

Таблиця 5.16 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Виготовлення бункеру з різним кутом	На ринку бункерів я не бачив компаній, які б виготовляли бункери з різним кутом кожної сторони (максимум одна сторона відрізняється від інших)

Таблиця 5.17. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з компанією Еталон)</i>						
			<i>-3</i>	<i>-2</i>	<i>-1</i>	<i>0</i>	<i>+1</i>	<i>+2</i>	<i>+3</i>
1	Бункери з різним кутом природнього укосу	18						+2	

5.6 РИНКОВІ СТРАТЕГІЇ ПІДПРИЄМСТВА «UANopper»

Таблиця 5.18 Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота вхо- ду у сегмент</i>
1	Компанії, які займаються дозуванням сипкої, рідкої чи в'язкої продукції	Думаю споживачі будуть готові сприйняти продукт	Попит на такі види бункери буде високий, так як це нововведення на ринку	Конкуренція буде невисока, так як дана технологія виготовлення вже запатентована	Думаю увійти у цей ринок буде доволі легко
Які цільові групи обрано: компанії, які займаються дозування і в подальшому пакуванням сипкої, рідкої чи в'язкої продукції					

Враховуючи, що моя компанія зосереджується на одному сегменті – тому я обираю стратегію концентрованого маркетингу;

Таблиця 5.19 Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтерна- тива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоп- лення ринку</i>	<i>Ключові конкуренто- спроможні позиції від- повідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	Альтернативи розвитку проекту нема	Стратегія концентрованого маркетингу		Стратегія диференціації

Таблиця 5.20 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «пер- шопрхідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових спо- живачів, або заби- рати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурен- та, і які?</i>	<i>Стратегія конку- рентної поведінки*</i>
1	Так	Так	Ні	Стратегія виклику лідера

Таблиця 5.21 Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/п</i>	<i>Вимоги до товару цільо- вої аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкуренто- спроможні позиції власного стартап- проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сфо- рмувати комплексну позицію власного проекту (три ключо- вих)</i>
		Стратегія диференціації	Виготовлення бункерів з різним кутом кожної сторони	

ВИСНОВКИ

За результатами виконання магістерської дисертації можна зробити наступні висновки:

- 1) Проведено дослідно-експериментальні дослідження, у ході яких отримано та оброблено дані впливу кута природнього укусу та фракції на дозування матеріалу.
- 2) За результатами досліджень побудовано залежності продуктивності від виду бункера
- 3) Експериментальними дослідженнями доведено, що дозування сипких матеріалів на асиметричному бункері – найкращий варіант.
- 4) За темою дисертації опубліковано 3 статті, 1 патент та 2 доповіді:

						Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. АС Україна №57817, Опубл. 10.03.2011, Бюл. №5
2. АС Україна №32617, опубл. 26.05.2008, Бюл. №10
3. Дозирование сыпучих материалов [Электронный ресурс] / STADS. Режим доступа: <http://www.old.stads.ru/uslugi/kompleksnye-resheniya/dozirovanie>
4. Шубин И. Н. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства / И. Н. Шубин, М. М. Свиридов, В. П. Таров. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2006. – 76 с.
5. Гячев Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. В. Гячев – М.: «Машиностроение», 1968. – С. 16–21.
6. Дересевич Г. Проблемы механики / Г. Дересевич. – М.: Издательство, 1961. – 191 с.
7. Иванов Г. И., Записки ЛГИ, 1961, т. 44, вып. 1, с. 98
8. Голубков К. Н., «Труды УНИИПроммедь», 1963, вып. 7, стр. 149.
9. Васильев А. В., Олевский В. А. В кн.: Транспортные устройства и складское хозяйство обогатительных фабрик. М., Углетехиздат, 1954, с. 238, 239.
10. Олевский В. А., Информационный бюллетень Механобра, 1938, №7, с. 29.

						Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 11.Зенков Р. Л. В кн.: Механика насыпных грузов. М., «Машиностроение», 1964, с. 160-162.
- 12.Башкина Л. В. Механико-технологические параметры хранения муки в силосах. М., ЦИНТИ Госкомзага СССР, 1968, с. 18, 19.
- 13.Протоdjяконов М. М. В кн.: Давление горных пород на рудничное крепление. М., Госгориздат, 1933, с. 5.
- 14.Маликян А. А. Зависимость между высотой свода равновесия и шириной выработки. Тбилиси, изд. ГПИ, 1960, с. 15.
- 15.Новокрещенцев И. А. «Труды ЛИИВТа», 1968, вып. 117, с. 39.
- 16.Голованов Ю. В. Механика гранулированных сред / Ю. В. Голованов, И. В. Ширко. – М.: Мир, 1985. – 280 с.
- 17.Рогинский Г. А. Дозирование сыпучих материалов / Г. А. Рогинский. – М.: Химия, 1978. – 176 с.
- 18.Першина С. В. Весовое дозирование зернистых материалов / С. В. Першина, А. В. Каталымов и др. – М.: Машиностроение, 2009. – 260 с.
- 19.Шубин И. Н. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства: учебное пособие для вузов / И. Н. Шубин, М. М. Свиридов, В. П. Таров. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 76 с.

						Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

20.Ткачук А. Н. Оценка влияния гранулометрического состава транспортируемого груза на режим работы приводных двигателей ленточных и скребковых конвейеров / А. Н. Ткачук, А. А. Жаботин // Взрывозащищенное электрооборудование 2009. Сборник научных трудов / А. Н. Ткачук, А. А. Жаботин. – Донецк: УкрНИИВЭ, 2009. – С. 235–245.

21.Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебное пособие для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.

22.Гугл-тренды. [Электронный ресурс]

Режим доступа:

[https://trends.google.com.ua/trends/explore?cat=12&date=2008-01-](https://trends.google.com.ua/trends/explore?cat=12&date=2008-01-01%202017-1130&geo=UA&q=%D0%BF%D1%8D%D1%82%20%D0%B1%D1%83%D1%82%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8)

[01%202017-](https://trends.google.com.ua/trends/explore?cat=12&date=2008-01-01%202017-1130&geo=UA&q=%D0%BF%D1%8D%D1%82%20%D0%B1%D1%83%D1%82%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8)

[1130&geo=UA&q=%D0%BF%D1%8D%D1%82%20%D0%B1%D1%83](https://trends.google.com.ua/trends/explore?cat=12&date=2008-01-01%202017-1130&geo=UA&q=%D0%BF%D1%8D%D1%82%20%D0%B1%D1%83%D1%82%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8)

[%D1%82%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8](https://trends.google.com.ua/trends/explore?cat=12&date=2008-01-01%202017-1130&geo=UA&q=%D0%BF%D1%8D%D1%82%20%D0%B1%D1%83%D1%82%D1%8B%D0%BB%D0%BA%D0%B8)

23 Розроблення стартап-проекту[Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

						Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

						Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

							Арк.
							122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



УДК 514.18:536.3

КОНСТРУЮВАННЯ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОГО БУНКЕРА ДЛЯ МАТЕРІАЛІВ З РІЗНИМ КУТОМ ПРИРОДНОГО УКОСУ

Гілінський С.М., студент,
Коваленко І.В., к.т.н.,
Міхельська Н.В., ст. викладач,
Кірюк В.П., д.т.н.
Національний Технічний Університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», (Україна, м. Київ)

Анотація – розглядається питання зменшення часу дозування сипких матеріалів і, відповідно, збільшення продуктивності пакувальних машин.

Ключові слова – завантажувальний бункер, склепіння, кут природного укосу, удосконалення конструкції, асиметричний бункер, сипкий матеріал

Постановка проблеми. Уданій статті формулюється удосконалення конструкції завантажувального бункера для матеріалу за рахунок утворення похилих стінок приймальної воронки, розміщення елементів, що демпфують, закріплення звукоізоляційних елементів у сполученні з можливістю ізоляції пілоподібної фракції.

Аналіз останніх досліджень. Досліджувана модель, яка має асиметричну будову, відноситься до галузі хімічного машинобудування і може бути використана для завантаження матеріалу з різним кутом природного укосу до дробарок або пакувальних машин різного конструктивного виконання.

Формулювання цілей. Конструктивним недоліком досліджуваної моделі є те, що при виготовленні бункера не враховано можливість утворення склепіння при підвищеній вологості матеріалу чи які недостатньо подібних, що спричиняє процес зменшення продуктивності дозування і, в подальшому – пакування матеріалу.

Основна частина. Склепіння можуть виникати в процесі витікання матеріалу, якщо внутрішня частина матеріалу, не перевищує його міцності. Якщо площина отвору не досягає граничного значення, спостерігається утворення стійкого склепіння. При цьому з отвору виступає тільки частина матеріалу, який знаходиться всередині склепіння, далі витікання припиняється. На практиці руйнування стійких склепіння найчастіше пов'язане з труднощами через відсутність прямого доступу до склепіння. Дослідження кінця склепіння в процесі витікання сипкого матеріалу з ємності, вплив різних взаємозалежних факторів на процес склепіння, а також визначення заходів щодо

45

перероблення і ліквідації склепіння становлять велику наукову і технічну проблему.

Розглядаючи два типи перешкоди у процесі витікання сипкого матеріалу (I) склепіння (випливання витікання – закупорка) і утворення перешкоди (обмеження витікання – як II функція, що утворює гальмівні імпульси).

На процес склепіння впливають фізико-механічні властивості сипкого матеріалу (природний кут укосу). Крім цього, процес склепіння залежить від геометричних параметрів бункера. Тому було вирішено створити бункер, який максимально спрощує процес дозування матеріалу і створює мінімальну можливість утворення склепіння. Завданням цієї роботи є удосконалення конструкції завантажувального бункера для матеріалу за рахунок утворення похилих стінок приймальної воронки, розміщення елементів, що демпфують, закріплення звукоізоляційних елементів у сполученні з можливістю ізоляції пілоподібної фракції.

Постановка завдання випливає з того, що завантажувальний бункер для матеріалу містить приймальну ємність із бічними стінками і випускною горловиною. Завантажувальний бункер має ізовисоку кришку, при цьому сполучення бічних стінок із випускною горловиною приймальної ємності утворює шар, що демпфують, із закритого шару з дрібно-фракційної сировини, сформованому під кутом природного укосу. При цьому, всі стінки приймальної ємності повинні розташовуватися під різним кутом (в залежності від природного укосу продукту), в деякому діапазоні (наприклад від 10 до 75°). Це дає змогу переробити різні матеріали на одній установці та запобігти створенню склепіння для різних матеріалів.

Завдання технічне рішення ілюструється 3D моделлю та кресленнями, на яких представлений завантажувальний бункер для кускового матеріалу. Завантажувальний бункер для кускового матеріалу являє собою приймальну ємність з випускною горловиною (Рис.1).



Рис. 1. 3D модель бункера

46

Сполучення бічних стінок із випускною горловиною приймальної ємності утворюють шар, що демпфують, із закритого шару із дрібно-фракційної сировини, сформованому під кутом природного укосу. Всі бічні стінки приймальної ємності, виконані ізовисокими (Рис. 2).



Рис. 2. Зображення бічних стінок приймальної ємності

Кут між утвореною поверхнею закритого шару на похилих стінках приймальної ємності і вектором напрямку потоку вихідного матеріалу, що надходить у приймальну ємність, знаходиться в діапазоні від 10 до 75°. На зовнішніх частинках бічних стінок приймальної ємності можуть бути закріплені звукоізоляційні шити. Такі ж шити можуть бути закріплені до ізовисокій кришки із зазором не менш 10 мм. Бункер з боку надходження кускового матеріалу може бути постачаний звукоізоляційним коробом, постачаний пілоподібним упилюванням (на схемі не позначено).

Завантажувальний бункер для кускового матеріалу являє собою такий спосіб. Завантажувальний бункер являє собою ємність із бічними стінками і випускною горловиною. Бункер встановлюють у місцях горизонтального гірської маси. Залежно від прийнятої технологічної схеми, гірська маса надходить із бункера на наступний транспортний засіб або безпосередньо в дробарку. Після утворення бічного укосу шару, що демпфують, гірська маса, переміщуючись по похилій площині, надходить безпосередньо у випускну горловину. Проведені дослідження показали, що процес беззавантаження гірської маси супроводжується значним нагріванням шиту. Визначення цих негативних факторів забезпечується тим, що завантажувальний бункер постачають зніжкою ізовисокій кришкою, що забезпечує герметичність простору приймальної ємності або доступу здути при необхідності ремонтних або профілактичних робіт. Крім того, завантажувальний бункер із боку надходження кускового матеріалу, може бути постачаний звукоізоляційним коробом з пілоподібним упилюванням.

47

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Також, для випробовування нового дослідного зразка, було виконано розгортку [2] на основі наведених креслень (Рис. 3).

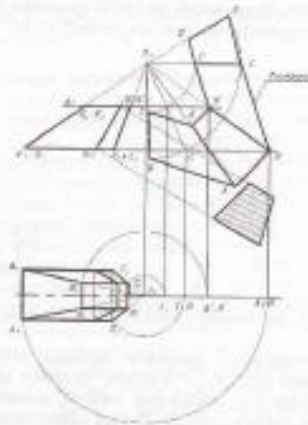


Рис. 3. Розгортка асиметричного бункера

Зниження рівня шуму при зіткненні кусків із конструктивними елементами завантажувального бункера досягають двома шляхами. Перший шлях - збільшення довжини переміщення кусків по шару, що демпфірує, і максимальне зменшення кута зіткнення потоку гірської маси із похилою твірною шару, що демпфірує; а другий шлях - установка звукоізолюючих елементів. Збільшення довжини переміщення кусків матеріалу по шару, що демпфірує, і максимальне зменшення кута зіткнення потоку гірської маси з похилою твірною шару, що демпфірує, досягають тим, що стінки приймальної ємності, виконують похилими. Це дозволяє збільшити довжину утвореної шару, що демпфірує, і зменшити швидкість руху кусків маси.

Дослідження показали, що мінімальний рівень шуму може бути досягнутий тоді, коли кут між твірною шару, що демпфірує, та похилих стінках і перпендикулом до осі потоку маси, що рухається, не буде перевищувати діапазону від 10 до 75°. Проведені експерименти показали, що при високій швидкості руху потоку маси великі куски відштовхуються від поверхні потоку, відділяються від нього і направляються в ширшому бічних стінках і похилої кришки. Найбільш підходящому шару кусків, які

відштовхуються від похилої твірної шару, є протилежна стінка приймальної ємності. Для зниження ударного впливу кусків, на цій стінці закріплюють із зазором не менш 5мм відбивний шит із пружного еластичного матеріалу. Експерименти показали, що в цьому випадку цей шар забезпечує поступове зменшення кінетичної енергії удару кусків і зменшення звукових коливань. Бічні стінки приймальної ємності, які паралельні осі напрямку потоку, менш піддаються ударному впливу кусків. Знання певних габаритів розмірів бункера дозволяють говорити про можливість виконання звуковими коливаннями стінок, що при цьому збільшують загальний шумовий фон.

Експериментально встановлено і одержано підтвердження на практиці те, що значне зниження шуму досягається тоді, коли на верхніх частинках бічних стінок приймальної ємності закріплюють звукопоглинальні шити, наприклад, зі спіненого матеріалу, при цьому висотою ізолюючої шити закріплюють до ізолюючої кришки із зазором не менш 10 мм. Наразі проводяться дослідні для підтвердження актуальності конструкції бункера з різними кутами стінок [3]. Завантажувальний бункер є одним із вузлів технологічного ланцюга по транспортуванню або переробці гірської маси. Це означає її великі обсяги, що надходять у прийомну ємність і виходять у випускний герметичний.

Промислове застосування наведеного пристрою дозволяє значно знизити шум, викликаний для різних матеріалів і випадати пилу при навантаженні маси на дробильних фабриках гірничобогатильних комбінатів і підприємств будівельної промисловості. Пристрій характеризується значним експлуатаційним ресурсом при роботі із крупиною і високо абразивною масою.

Висновки:

1. Таким чином використання виходу дозволяє конструювати бункери з сторонами під різним кутом для сипучих продуктів з різними кутами природного укладу, що в свою чергу зменшує час дозрівання і збільшує продуктивність.

2. Такий конструктивний спосіб виконання бункера є більш точним, оскільки припускає використання природного укладу продуктів, які доводяться.

3. Запропонована конструкція асиметричної форми бункера є новим напрямком досліджень та має велику перспективу з різних галузей технологічного використання.

Бібліографічний список

1. Гейн Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. / Л.В. Гейн. - М.: «Машиностроение», 1968. - С. 16-21.
2. Бубликов А.В. Начертательная геометрия. - М.: Высшая школа, 1985.
3. Поштинин Р.В. Про вплив декартичного підходу на формування моделі "Завантажувальний бункер для матеріалів з різним кутом природного укладу". - М: 677/33/18 від 09.02.2018. Реєстраційний номер заявки в 2017 08738.

					Арк.
					124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Міністерство освіти і науки України
Клуб пакувальників України
Національний університет харчових технологій
АТ «Київський міжнародний контрактний ярмарок»

Матеріали доповідей
XVI Науково-практичної конференції
молодих вчених
«Новітні технології пакування»

Додаток до журналу «Упаковка»



За підтримки:



Київ — 2017

Явище склепіння під час пакування матеріалу

І.В. Коваленко, к.т.н., Є.М. Глинський, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Статичні склепіння можуть виникати в процесі заповнення ємності сипким матеріалом. Склепіння можуть утворюватися в процесі витікання матеріалу, якщо напруга, яка виникає в матеріалі, не перевищує його міцності. Якщо площа отвору не досягає граничного значення, спостерігається утворення стійкого склепіння. При цьому з отвору висипається тільки частина матеріалу, який знаходиться всередині склепіння, далі витікання припиняється. Якщо тиск маси матеріалу перевищує силу зчеплення частинок, склепіння руйнується і починається рух.

Сучасні теорії недостатньо повно відображають фізичну картину утворення статичних склепінь над отвором. Частота виникнення стабільного склепіння залежить від параметрів ємності, властивостей і стану матеріалу (дисперсності, сил зчеплення і форми часток тощо), а також від технологічних причин, оскільки фізичні процеси, які змінюють фізико-механічні властивості сипкого середовища, проявляються з часом.

Вплив цих факторів неможливо передбачити теоретично. Склепіння визначається випадковим взаємним просторовим розташуванням частинок, які опиняються безпосередньо над отвором у цей момент. Чіткої межі між стійким і нестійким станом склепіння немає. Тривалість існування склепіння обумовлена положенням частинок у масі склепіння і над ним, а також навантаженням.

На практиці руйнування стійких склепінь найчастіше пов'язане з труднощами через відсутність прямого доступу до склепінь. Дослідження явища склепіння в процесі витікання сипкого матеріалу з ємності, вплив різних взаємозалежних факторів на процес склепіння, а також визначення заходів щодо попередження і ліквідації склепіння становлять велику наукову і практичну цінність.

Розрізняють два типи перешкод у процесі витікання сипкого матеріалу [1]: склепіння (припинення витікання – закупорка) і утворення перемичок (обмеження витікання – як її функція, що утворює гальмівні імпульси).

На процес склепіння впливають фізико-механічні властивості сипкого матеріалу. Крім цього, процес склепіння залежить від геометричних параметрів бункера (залежності між розмірами випускного отвору і частинок матеріалу, кута нахилу стінок бункера тощо).

Склепіння залежить від зв'язаності матеріалу, яке характеризується початковим опором зсуву (τ_0) [2–4]. Вплив інших факторів на процес склепіння буде мати значення тільки в тих випадках, коли під їх впливом змінюється початковий опір зсуву.

Розрізняють два різновиди стійких статичних склепінь, які утворюються в бункерах:

1. *утворення склепінь у кусковому матеріалі в результаті заклинення кусків*, які мають випадкове розташування. Таке склепіння утримується в рівновазі внаслідок тертя між окремими кусками, п'ятою склепіння і

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

стінами бункера. На стійкість впливають проєкти склепіння, кут нахилу стінок дна до тавра.

2. **заклепіння склепіння у дрібнофракційному матеріалі масискою** (м'якшесні (мелені частинки)). У цьому випадку на процес склепіння впливають не тільки перераховані фактори, але й фізико-механічні властивості сипкого матеріалу.

Основні розміри склепіння (максимальна висота і граничний отвір склепіння), а також його розташування відносно отвору залежать від кута нахилу стінок до горизонту і розміру виведеного отвору. Склепіння являє собою комбінацію послідовно з'єднаних кусків, які знаходяться в умовах рівноваги. Порушення рівноваги одного з елементів склепіння призведе до руйнування всієї системи.

Припустимо, що вимірність порушення нижого рівноваги μ однакова для всіх елементів склепіння, тоді вимірність їх збереження буде рівна 1. Вимірність утворення статичного склепіння системи послідовно з'єднаних елементів η можна виразити у вигляді:

$$\eta = \xi_1 - \mu^2 \mu, \quad (1)$$

де ξ_1 – число кусків, з яких складається склепіння.

Ступінь зменшення вимірності стійкого склепіння знаходиться у залежності від абсолютної величини μ . Так, якщо $\mu = 0,8$ і η збільшується від 3 до 6, то η зменшиться в 125 разів, якщо ж μ збільшиться від 4 до 8 – η зменшиться в 625 разів.

Розглянемо залежність процесу склепіння від кута нахилу до горизонту стінок бункера.

Для параболічного склепіння горизонтальна складова тиску P , яка від склепіння передається на стінки бункера, дорівнює:

$$P = \frac{G}{2} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (2)$$

де G – навантаження на одиницю горизонтальної проєкції склепіння. Норм; β – горизонтальна проєкція склепіння, м; β_0 – кут нахилу дотичної до склепіння у точці його дотику до стінок бункера, град.

Рівняння (2) показує, що на величину P впливає кривизна склепіння, яка характеризується кутом β_0 . Однак навіть при постійному куті нахилу склепіння мають по-різному розташовуватися всередині бункера і мати різну кривизну, тобто $\beta_{\max} \geq \beta_0 \geq \beta_{\min}$.

При крутих склепіннях, коли $\beta_0 > \beta_{\max}$, п'ята склепіння, опираючись на стіну бункера, своєю по цій стіні кінці і рівновага склепіння порушується.

При пологих склепіннях (рисунк б), коли $\beta_0 < \beta_{\max}$, п'ята склепіння може версіюватися вгору.

При крутих склепіннях (рисунк а) сила F_1 , яка спрямована вгору, долає силу тяжіння G_1 , і умови рівноваги визначають рівняння:

$$G_1 = \eta \sigma' = \alpha_1 + \alpha, \quad (3)$$

де α_1 – кут нахилу стінок бункера, α – кут між напрямом тиску п'яти склепіння на стіну бункера і нормаллю до стінок.

При пологих склепіннях (рисунк б) сила тяжіння F_2 , яка спрямована вниз, утримує п'яту від переміщення вгору:

$$\alpha_2 = 90^\circ - \alpha_1 + \alpha, \quad (4)$$

Рівновага зберігається за умови, що утримування і зсувні сили рівні між собою.

Тоді формули (3) і (4) мають вигляд:

$$F_{\text{втрим}} = \eta \sigma' = \alpha_1 + \alpha, \quad (5)$$

$$F_{\text{зсув}} = \eta \sigma' = \alpha_2 - \alpha, \quad (6)$$

де η – кут тертя матеріалу по стінках бункера.

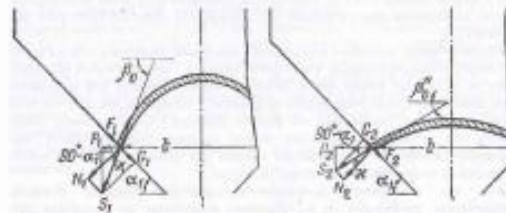


Рис. 1. Рівновага п'яти при крутих (а) та пологих (б) склепіннях

Величини розбору для крутих склепіння буде дорівнювати:

$$P_{\text{кр}} = \frac{G}{2} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta_0} \approx \frac{G}{2} \sin \alpha, \quad (7)$$

для пологих склепіння:

$$P_{\text{пл}} = \frac{G}{2} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta_0} \approx \frac{G}{2} \sin \alpha, \quad (8)$$

З рівнянь (7) і (8) випливає, що розбір склепіння збільшується у разі збільшення кута нахилу стінок дна до тавра. У роботі [5] вказується, що при $\alpha_1 \geq 60^\circ$ пологі склепіння, що утворюються, володіють високою міцністю і легко піддаються руйнуванню, оскільки сили тертя, що виникають у таких випадках, набагато перевищують сили, які зсувають п'яту.

Отже, рівняння (7) і (8) мають практичне значення під час розрахунку бункерів.

Література

1. Гачев Л.В. Динамічне заповнення матеріалом в трубах і бункерах / Л.В. Гачев. – М.: «Машиностроєння», 1968. – С. 16–21.
2. Ніколаєв Г.И. Записки АН. – Т. 44. – Вып. 1. – 1961. – С. 98.
3. Голубов К.И. Труды УНИИПроммели. – Вып. 7. – 1961. – 149 с.
4. Волков А.В., Овечкин В.А. В кн.: Транспортные устройства и складское хозяйство обогатительных фабрик. – М.: Углетехиздат, 1954. – С. 238–239.
5. Овечкин В.А. Информационный бюллетень. Механобра. – 1978. – № 7. – С. 29.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Міністерство освіти і науки України
Клуб пакувальників України
Національний університет харчових технологій
АТ «Київський міжнародний контрактний ярмарок»

Матеріали доповідей
XVII Науково-практичної конференції
молодих вчених
«Новітні технології пакування»

Додаток до журналу «Упаковка»



За підтримки:



Київ — 2018

Завантажувальний бункер для сипких матеріалів із різним кутом природного укосу

І.В. Коваленко, к.т.н., Є.М. Гліньський, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Склепіння можуть виникати в процесі витікання матеріалу, якщо напруга, яка виникає в матеріалі, не перевищує його міцності. Якщо площина отвору не досягає граничного значення, спостерігається утворення стійкого склепіння. При цьому з отвору висипається тільки частина матеріалу, який міститься всередині склепіння, далі витікання припиняється.

На практиці руйнування стійких склепіннь найчастіше пов'язане з труднощами через відсутність прямого доступу до них. Дослідження явища склепіння в процесі витікання сипкого матеріалу з ємності, вплив різних взаємозалежних факторів на склепіння, а також визначення заходів щодо запобігання й ліквідації склепіння становлять наукову та практичну цінність.

Розрізняють два типи перешкод у процесі витікання сипкого матеріалу [1]: склепіння (припинення витікання – закупорка) і утворення перемичок (обмеження витікання – як її функція, що утворює гальмівні імпульси).

На процес утворення склепіння впливають фізико-механічні властивості сипкого матеріалу (природний кут укосу). Крім цього, цей процес залежить від геометричних параметрів бункера. Тому було вирішено створити бункер, який максимально спрощує процес дозування матеріалу та створює мінімальну можливість утворення склепіння.

Завданням цієї моделі є вдосконалення конструкції завантажувального бункера для матеріалу за рахунок утворення похилих стінок приймальної воронки, при цьому всі стінки приймальної ємності повинні розташовуватись під різним кутом (залежно від природного укосу продукту) в деякому діапазоні, наприклад від 10 до 75°. Це дає змогу переробити різні матеріали на одній установці та запобігає склепінню для різних матеріалів.

Заявлене технічне рішення ілюструється 3D-моделлю та кресленням, на яких представлено завантажувальний бункер для кускового матеріалу. До завантажувального бункера для кускового матеріалу входить приймальна ємність із випускною горловиною (рис. 1).

Сполучення бічних стінок із випускною горловиною приймальної ємності утворюють зони, що демпфують, із захисного шару з дрібнофракційної сировини, сформованого під кутом природного укосу. Всі бічні стінки приймальної ємності виконані похилими (рис. 2).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рис. 1. 3D-модель бункера



Рис. 2. Зображення бункера стінок приблизної симетрії

Також було проведено математичне моделювання процесу проходження частинок по стінках бункера за допомогою програми Ansys, при цьому були використані такі параметри: швидкість $V = 0,1 \text{ м/с}$ і прискорення вільного падіння $G = 9,81 \text{ м/с}^2$. У результаті виконаних досліджень встановлено, що 200 ітерацій було зроблено за 9 хв 57 с. На рис. 3 зображено сітку бункера, яка використовується для реалізації математичної моделі. На рис. 4-5 показано результати математичних дослідів руху частинок по стінках бункера. Швидкі на рис. 4-5 відображають швидкість частинок по стінках бункера.



Рис. 3. Зображення сітки бункера

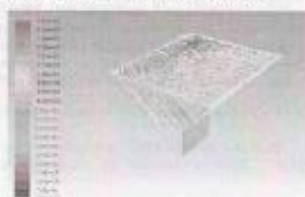


Рис. 4. Зображення руху частинок по стінках бункера

36



Рис. 5. Зображення ліній руху частинок по бункеру

Результати математичного моделювання дають змогу стверджувати, що швидкість руху частинок матеріалу з однієї кутної природного укладу була відносно швидкою і близькою куту (рис. 2).

Наразі проводиться експеримент для підтвердження істотності бункера з різними кутами стінок. Завантажувальний бункер є одним із вузлів технологічного ланцюга її транспортування або перероблення сипких матеріалів. Це означає, що обсяги матеріалів, що надходять у прийомну ємність і виходять у випуск горловини. Промислове застосування завантажувального пристрою дає можливість усунути ускладнення для різних матеріалів і дозволяє при перевантаженні маси сипких матеріалів за підтримки харчової та медичної промисловості.

Література

1. Гусев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л.В. Гусев. – М.: Машиностроение, 1968. – С. 16-21.

37

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

128

Магістерська дисертація на тему: Геометрія бункерів з метою оптимізації процесу пакування сипких матеріалів

Виконав: Глінський Є.М, ЛУ-61м.

Керівник: Коваленко І.В, доц., к.т.н.

Актуальність теми. Підвищення точності та швидкості дозування сипких продуктів є актуальною задачею, вирішення якої зменшує ризики виробника і покупця у переробній і харчовій промисловості. Але більшість виробництв України не можуть дозволити собі коштовне обладнання, а звичайні бункери не дозволяють точно та швидко дозувати сипкі матеріали. Це дозволяє стверджувати, що ступінь дослідження даної тематики явно недостатній, а проблема досліджень бункерів є актуальними.

Мета і завдання дослідження. Дослідити час дозування сипких матеріалів на бункерах з різною геометрією, націлених на максимальну точність та швидкість дозування.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

1. Дослідити час процесу дозування на конусному, пірамідальному, асиметричному бункері.
2. Встановити залежність продуктивності дозування від геометрії бункерів.

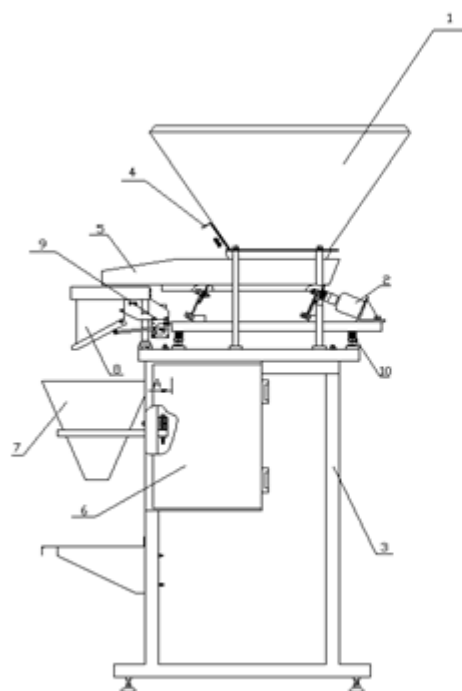
Об'єкт дослідження – продуктивність бункерів різного типу.

Предмет дослідження – сипкі матеріали різної фракції та з різним кутом природнього укосу.

Наукова новизна отриманих результатів.

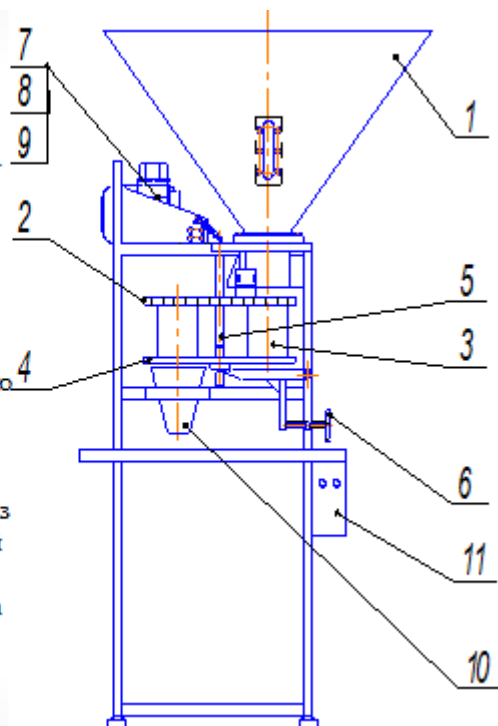
1. На підставі аналізу фізико-механічних властивостей різних видів сипких матеріалів визначено підходи підвищення точності і продуктивності бункерів.
2. На базі проведених досліджень виявлено раціональні співвідношення точності та швидкості дозування сипких матеріалів.

						Арк.
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Матеріал з бункеру 1 подається в лоток 5. Його подача регулюється шторкою 4. Електромагнітний вібратор створює коливання лотка, за рахунок чого продукт просувається по лотку до вивантажувального пристрою 8. Тензометричний датчик 9 подає сигнал про формування дози на блок керування 6. Коли потрібна доза сформована, продукт вивантажується через воронку 7 у ємність, яка стоїть на підставці пакувального стола 3. 1 – бункер; 2 – електромагнітний вібратор; 3 – пакувальний стіл; 4 – шторка; 5 – лоток; 6 – блок керування; 7 – воронка; 8 – вивантажувальний пристрій; 9 – тензодатчик; 10 – пружина.

Установка складається з насипного бункеру 1, з якого подається матеріал, рухомого диска 2, який має отвір для засипання продукції. До рухомого диска кріпляться дозувальні стаканчики 3. Нерухомий диск 4, який має отвір для висипання дозованого матеріалу, жорстко встановлений на валу 5, який може змінювати відстань між дисками за допомогою важеля з гвинтом 6. Рухоме колесо приводиться в рух за допомогою шайби 9, яка отримує обертання від електродвигуна 7 (MS6324) через редуктор 8. Розподільчий пристрій малого бункера 10 кріпиться на металеву раму. Вмикання дозатора відбувається за допомогою електронного пристрою 11.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

130

Математична модель склепіння

Склепіння над отвором довільної форми. Визначити розміри отвору склепіння довільної форми точно не вдається. Умовно допустимо, що дотичні напруження по всьому периметру отвору приблизно постійні, тоді умови рівноваги для стійкого склепіння виражається залежністю:

$$F \Delta h \gamma = L \Delta h \tau_s$$

де F – площа отвору; L – периметр отвору.

Тоді гідрравлічний радіус дорівнює:

$$R = \frac{F}{L} = \frac{\tau_s}{\gamma}$$

Припустимо, що у всіх точках периметру отвору сипкий матеріал знаходиться у стані граничної рівноваги, тоді отримаємо вже відому формулу:

$$R = \frac{\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}$$

по якій можна приблизно визначити розмір отворів склепіння довільної форми

Для прямокутного отвору зі сторонами a і b

$$R = \frac{ab}{2(a+b)} = \frac{\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}$$

Звідки

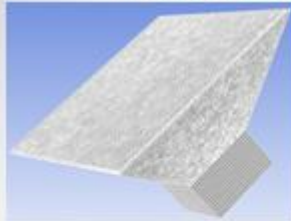
$$a = \frac{2\tau_0 b(1 + \sin \varphi)}{b\gamma - 2\tau_0(1 + \sin \varphi)}$$

Загальний вираз для визначення ширини отвору склепіння можна записати так:

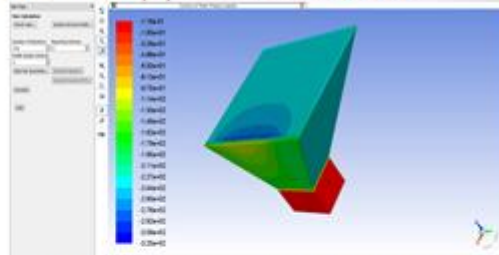
$$a = \frac{2\tau_0(1 + \sin \varphi)}{K'\gamma}$$

де $K' = 0,5$ для круглого, квадратного і трикутного отворів; $K = 1$ – для щілиноподібного отвору.

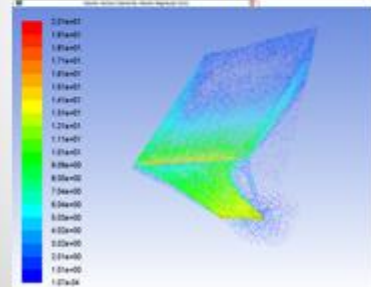
Комп'ютерне моделювання



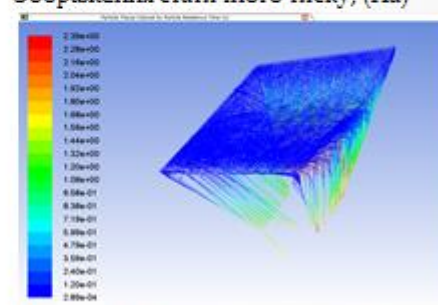
Зображення сітки виробу



Зображення статичного тиску, (Па)



Вектори швидкості, зафарбовані по величині швидкості, (м/с)



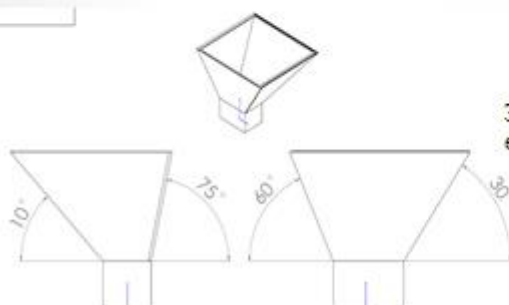
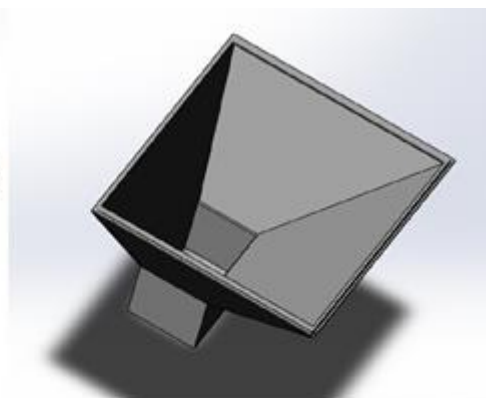
Частинки слідів, забарвлених часом перебування частинок, (с)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Арк.

131

Завантажувальний бункер для кускового матеріалу включає приймальну ємність з випускною горловиною (3D модель)



Зображення бічних стінок приймальної ємності під різним кутом

Матеріали з різним кутом природнього укоса та фракцією

Матеріал	Кут природнього укосу	Фракція, мм
Гречка	50	3,343
Горох	25	3,263
Пісок	34	0,35
ПЕВГ	26	3,195
Полістирол	29	2,605

Результати експериментів
Продуктивність для конічного бункеру Продуктивність для асиметричного бункеру

Матеріал	Середній час, с	Продуктивність, кг/с	Матеріал	Середній час, с	Продуктивність, кг/с
Гречка	17.543	0.114	Гречка	17.863	0.111
Горох	20.763	0.096	Горох	20.86	0.095
Пісок (сухий)	6.463	0.309	Пісок (сухий)	6.62	0.302
ПЕВГ	26.593	0.075	ПЕВГ	27.286	0.073
Полістирол ПСМ 115 В/С	21.623	0.092	Полістирол ПСМ 115 В/С	22.19	0.090

Продуктивність для пірамідального бункеру

Матеріал	Середній час, с	Продуктивність, кг/с
Гречка	18.106	0.110
Горох	21.436	0.093
Пісок (сухий)	6.973	0.286
ПЕВГ	27.833	0.071

Графіки залежності продуктивності від бункерів

